



Universidad
Carlos III de Madrid

**Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica**

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

APLICACIÓN ANDROID PARA EL ESTUDIO DE EJES A FATIGA

Autor: César Núñez Ruiz

Tutor: Higinio Rubio Alonso

Leganés, 2013





Título: **Aplicación Android para el estudio de ejes a fatiga.**

Autor: **César Núñez Ruiz**

Director: **Higinio Rubio Alonso**

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 26 de Abril de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



Agradecimientos

La defensa de este Proyecto Fin de Carrera pone punto y final a la aventura que comencé hace ya unos años de ser el primer ingeniero de la familia. Atrás quedan todas esas noches interminables de estudio que todo futuro ingeniero quiere evitar pero que siempre padece.

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. Sobre la que quiero resaltar a mi madre, que aunque nuestros caminos siempre pareciesen distintos nuestra meta era siempre la misma. Tampoco puedo olvidarme de mis abuelos a los que atribuiría la frase de amor ciego e incondicional.

En estos agradecimientos no puede faltar mi hermano con el que he compartido tantos momentos buenos desde peques.

A mis amigos, a esa gente que me rodea en mí día a día, porque a su manera han puesto su pequeño grano de arena.

Gracias a Higinio, mi tutor, no solo por su inestimable ayuda, sino por la confianza, los consejos y las historias.

Por último y no menos importante a mi fiel e inseparable compañero, Flash.



Resumen

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de una aplicación para dispositivos con soporte Android de uso genérico capaz de estudiar la fatiga en ejes y realizar una primera aproximación al estudio del coeficiente de seguridad en ejes debido al fenómeno de fatiga.

Para la consecución del objetivo principal se ha creado un modelo capaz de interpretar y calcular el estado de cargas presente en dos estructuras determinadas. También se ha llevado a cabo una búsqueda del software genérico en el que implementar la aplicación.

Se realizan dos aplicaciones de exploración que sirven para recopilar información de cómo crear y desarrollar aplicaciones en Android, que a su vez aportan los fundamentos y la arquitectura con las que se materializara la aplicación de este proyecto. La aplicación está disponible tanto en inglés como en castellano

Por último, se ha efectuado un juego de pruebas que ha verificado la correcta operatividad de la aplicación.



Abstract

This project involves the design and implementation of an application for Android supported devices capable of studying fatigue in axles and accomplish a first approximation to the study of the safety factor on axles due to the phenomenon of fatigue.

To achieve the primary goal it has been developed a model capable of interpreting and calculate the state of loads present in two determined structures. Also it has been carried out a search for generic software in which to implement our application.

Two exploration applications have been created and will be used to gather information on how to create and develop Android applications. At the same time they will provide the fundamentals and architecture with which the application of this project is held. The application is available in English as well as in Spanish.

Finally, a set of tests are done to verify the correct functionality of the application.





Índice General

Capítulo I:

MOTIVACION Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Motivación del Proyecto	25
1.2 Objetivos del Proyecto	28
1.3 Fases del Proyecto	29
1.4 Estructura de la Memoria.....	30

Capítulo II:

INTRODUCCIÓN A EJES DE TRANSMISIÓN

2.1 Ejes de Transmisión	35
2.2 Configuración de Ejes a Estudiar	35
2.2.1 Ejes de Transmisión Biapoyados	35
2.2.1 Eje Ferroviario	35
2.3 Tipos de Ejes	36
2.3.1 Lisos	36
2.3.2 Escalonados	36
2.3.3 Ranurado	36
2.3.4 Hueco	37
2.3.5 Acodado	37
2.4 Diseño de Ejes de Transmisión	37
2.5 Materiales para Ejes de Transmisión	38
2.6 Análisis de Cargas y Esfuerzos en Ejes	39
2.6.1 Caracterización de Esfuerzos Fluctuantes	39
2.6.2 Distribuciones Tensionales a que dan Lugar Configuraciones Típicas de Esfuerzo en Ejes en Rotación	40
2.6.3 Flexión en Ejes en Rotación	41
2.6.4 Torsión en ejes en rotación	42

Capítulo III:

INTRODUCCIÓN AL FENOMENO DE LA FATIGA

3.1 Introducción	47
3.2 Historia de los Fallos por Fatiga	48
3.3 Fases del Fallo por Fatiga	50
3.3.1 Etapa Iniciación de la Grieta	50

3.3.2	Etapa Propagación de la Grieta	50
3.3.3	Fractura	51
3.4	Diagrama S-N	51
3.4.1	Zonas del Diagrama de Fatiga	52
3.5	Corrección del Límite de Fatiga	53
3.5.1	Factor de Acabado Superficial	54
3.5.2	Factor de Tamaño	56
3.5.3	Factor de Tipo de Carga	57
3.5.4	Factor de Temperatura	58
3.5.5	Factor de Confiabilidad	58
3.5.6	Factor de Efectos Diversos	59
3.5.7	Límite de Fatiga Sin Corregir	63
3.6	Método de Análisis con Tensión Media No Nula	64
3.6.1	Criterio de Goodman	64
3.6.2	Criterio de Soderberg	65
3.6.3	Criterio de Gerber	65
3.6.4	Línea de Carga. Factores de Seguridad	66

Capítulo IV:

METODOLOGÍA

4.1	Etapas de Diseño	71
4.2	Introducción e Historia de Eclipse	72
4.2.1	Versiones	73
4.3	Android	73
4.3.1	Plataformas	75
4.4	Desarrollo del Proyecto	76
4.4.1	Introducción a Java y Android	76
4.4.2	Creación y Estructura de una Aplicación Android	77
4.4.3	Implementación	83
4.4.4	Instalación	113

Capítulo V:

ANÁLISIS DE RESULTADOS. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN.

5.1	Problema Resuelto	117
5.2	Problema Resuelto en Eje.Max	124



Capítulo VI:

APLICACIONES DE EXPLORACIÓN

6.1 Introducción	145
6.2 MomentosInercia2D	145
6.3 Canvas	149

Capítulo VII:

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

7.1 Conclusiones	155
7.2 Futuros Trabajos	156

Capítulo VIII:

PRESUPUESTO

8.1 Presupuesto	159
-----------------------	-----

Capítulo IX:

BIBLIOGRAFIA

9.1 Referencias Bibliográficas	163
9.2 Referencias de la Web	163



Índice de Figuras

<i>Figura 1: Eje de transmisión de un camión y Eje ferroviario montado.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2: Ejemplo de Smartphones y tabletas</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3: Fases del proyecto</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4: Configuración de un aerogenerador con su eje de transmisión</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5: Eje Liso</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6: Eje Escalonado</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7: Eje Ranurado</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8: Eje Acodado</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9: Esfuerzos Fluctuantes</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10: Estado tensional de un eje en rotación</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11: Tensiones tangenciales en un eje en rotación</i>	<i>42</i>
<i>Figura 12: Diagrama Wohler (S-N)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13: Accidente Aloha Airlines</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14: Fallo por fatiga</i>	<i>51</i>
<i>Figura 15: Ensayo viga rotatoria</i>	<i>52</i>
<i>Figura 16: Diagrama S-N</i>	<i>52</i>
<i>Figura 17: Factor k_a en función del acabado superficial y resistencia ultima a la tracción</i>	<i>54</i>
<i>Figura 18: Factor de tamaño-piezas no circulares</i>	<i>57</i>
<i>Figura 19: Efectos del agua del mar sobre el aluminio</i>	<i>59</i>
<i>Figura 20: Barra de sección rectangular con dos muescas o recortes circulares sometidos a tensión o compresión simples (a) y a flexión (b). Barra de sección circular con estrechamiento y entalles en torsión (c) y en flexión (d)</i>	<i>61</i>
<i>Figura 21: Sensibilidad a las ranuras para cargas de flexión y axiales alternantes ...</i>	<i>62</i>
<i>Figura 22: Sensibilidad a las ranuras para cargas de torsión alternantes</i>	<i>62</i>
<i>Figura 23: Diagrama S-N de una pieza sometida a tensión media nula</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24: Criterios de fallo</i>	<i>66</i>
<i>Figura 25: Línea de carga</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26: Organigrama del diseño de la aplicación</i>	<i>71</i>
<i>Figura 27: Versiones de Eclipse</i>	<i>73</i>
<i>Figura 28: Crecimiento de Android con el tiempo.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 29: Fase1-Creación Aplicación</i>	<i>77</i>
<i>Figura 30: Fase2-Creación Aplicación</i>	<i>77</i>
<i>Figura 31: Fase3-Creación Aplicación</i>	<i>78</i>
<i>Figura 32: Fase4-Creación Aplicación</i>	<i>78</i>
<i>Figura 33: Fase5-Creación Aplicación</i>	<i>79</i>
<i>Figura 34: Estructura de una aplicación Android</i>	<i>79</i>
<i>Figura 35: Carpeta src.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 36: Carpeta gen.....</i>	<i>80</i>

<i>Figura 37: Carpeta res 2</i>	81
<i>Figura 38: Carpeta Android</i>	82
<i>Figura 39: Organigrama de la aplicación</i>	83
<i>Figura 40: Portada de Eje.Max</i>	84
<i>Figura 41: Pantalla principal de Eje.Max</i>	85
<i>Figura 42: Organigrama del módulo de Cargas</i>	86
<i>Figura 43: Selección de estructura de Eje.Max</i>	87
<i>Figura 44: Estructura Tipo 1 de Eje.Max</i>	87
<i>Figura 45: Estructura Tipo 2 de Eje.Max</i>	87
<i>Figura 46: Plano XY Eje.Max</i>	88
<i>Figura 47: Plano XZ Eje.Max</i>	88
<i>Figura 48: Cargas estructuras tipo 2 de Eje.Max</i>	96
<i>Figura 49: Ecuación de Marin de Eje.Max</i>	99
<i>Figura 50: Organigrama del módulo de Corrección Limite de Fatiga</i>	100
<i>Figura 51: Límite de fatiga sin corregir de Eje.Max</i>	102
<i>Figura 52: Factor de Acabado Superficial de Eje.Max</i>	102
<i>Figura 53: Factor de Tamaño de Eje.Max</i>	103
<i>Figura 54: Factor de Tipo de Carga de Eje.Max</i>	103
<i>Figura 55: Factor de Temperatura de Eje.Max</i>	104
<i>Figura 56: Factor de Confiabilidad de Eje.Max</i>	104
<i>Figura 57: Factor de Concentración de Tensiones de Eje.Max</i>	105
<i>Figura 58: Factor a la Entalladura de Eje.Max</i>	105
<i>Figura 59: Factor de Concentración de Tensiones Teórico</i>	106
<i>Figura 60: Grafica 1. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max</i>	106
<i>Figura 61: Grafica 2. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max</i>	107
<i>Figura 62: Grafica 3. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max</i>	107
<i>Figura 63: Criterios de Análisis de Eje.Max</i>	108
<i>Figura 64: Selección de Criterio de Eje.Max</i>	108
<i>Figura 65: Organigrama de diseño del tercer módulo de Eje.Max</i>	109
<i>Figura 66: Funciones de Eje.Max</i>	110
<i>Figura 67: Teoría Ecuación de Marin</i>	110
<i>Figura 68: Teoría límite de fatiga sin corregir</i>	111
<i>Figura 69: Teoría factor de acabado superficial</i>	111
<i>Figura 70: Teoría factor de tamaño</i>	111
<i>Figura 71: Teoría factor de carga</i>	111
<i>Figura 72: Teoría factor de temperatura</i>	112
<i>Figura 73: Teoría factor de confiabilidad</i>	112
<i>Figura 74: Teoría factor de concentración de tensiones</i>	112
<i>Figura 75: Teoría criterios de fallo por fatiga</i>	112
<i>Figura 76: Icono aplicación</i>	113
<i>Figura 77: Esquema ejercicio</i>	117
<i>Figura 78: Esquema eje</i>	117

<i>Figura 79: Distribución de las cargas en los distintos planos</i>	118
<i>Figura 80: Secciones críticas</i>	118
<i>Figura 81: Diagrama esfuerzos</i>	119
<i>Figura 82: Problema resuelto-Pantalla inicio</i>	124
<i>Figura 83: Problema resuelto-Escoge opciones</i>	124
<i>Figura 84: Problema resuelto-Resultados sección I</i>	125
<i>Figura 85: Problema resuelto-Resultados sección II</i>	125
<i>Figura 86: Problema resuelto-Resultados sección III</i>	125
<i>Figura 87: Problema resuelto-Valores Plano XY</i>	126
<i>Figura 88: Problema resuelto-Valores Plano XZ</i>	126
<i>Figura 89: Problema resuelto-Pantalla inicio</i>	127
<i>Figura 90: Problema resuelto-Ecuación de Marin</i>	127
<i>Figura 91: Problema resuelto-Límite de fatiga sin corregir</i>	128
<i>Figura 92: Problema resuelto-Factor de acabado superficial</i>	128
<i>Figura 93: Problema resuelto-Factor de tamaño sección I y III</i>	129
<i>Figura 94: Problema resuelto-Factor de tamaño sección II</i>	129
<i>Figura 95: Problema resuelto-Factor tipo de carga</i>	130
<i>Figura 96: Problema resuelto-Factor de temperatura</i>	130
<i>Figura 97: Problema resuelto-Factor de confiabilidad</i>	131
<i>Figura 98: Problema resuelto-Factor de concentración de tensiones</i>	131
<i>Figura 99: Problema resuelto-Factor a la entalladura</i>	132
<i>Figura 100: Problema resuelto-Factor de concentración de tensiones teórico</i>	132
<i>Figura 101: Problema resuelto-Efecto del momento flector</i>	133
<i>Figura 102: Problema resuelto-Efecto del momento torsor</i>	133
<i>Figura 103: Problema resuelto-Límite de fatiga corregido sección I y III.....</i>	134
<i>Figura 104: Problema resuelto-Límite de fatiga corregido sección II.....</i>	134
<i>Figura 105: Problema resuelto-Pantalla de inicio del tercer módulo</i>	135
<i>Figura 106: Problema resuelto-Elección de criterio y número de ciclos</i>	135
<i>Figura 107: Problema resuelto-Criterio de Goodman sección I</i>	136
<i>Figura 108: Problema resuelto-Criterio de Goodman sección II.....</i>	136
<i>Figura 109: Problema resuelto-Criterio de Goodman sección III</i>	137
<i>Figura 110: Problema resuelto-Criterio de Soderberg sección I</i>	138
<i>Figura 111: Problema resuelto-Criterio de Soderberg sección II.....</i>	138
<i>Figura 112: Problema resuelto-Criterio de Soderberg sección III</i>	139
<i>Figura 113: Problema resuelto-Criterio de Gerber sección I</i>	140
<i>Figura 114: Problema resuelto-Criterio de Gerber sección II.....</i>	140
<i>Figura 115: Problema resuelto-Criterio de Gerber sección III.....</i>	141
<i>Figura 116: Portada MomentosInercia2D.....</i>	145
<i>Figura 117: MomentosInercia2D.....</i>	145
<i>Figura 118: INTRO</i>	146
<i>Figura 119: Display calculadora</i>	146
<i>Figura 120: Lista de figuras disponibles</i>	147



<i>Figura 121: Rectángulo</i>	147
<i>Figura 122: Círculo</i>	147
<i>Figura 123: Triángulo</i>	148
<i>Figura 124: Botón de acceso</i>	148
<i>Figura 125: Pantalla principal Canvas</i>	149
<i>Figura 126: Menu desplegable</i>	149
<i>Figura 127: Toast personalizado</i>	150
<i>Figura 128: Pantalla 1 del canvas</i>	151
<i>Figura 129: Pantalla 2 del canvas</i>	151

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Coeficientes para el cálculo del factor de acabado superficial</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 2: Factores de confiabilidad</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3: Límites de fatiga sin corregir.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 4: Plataformas Android</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5: Distribución de accesos</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 6: Carpeta res 1.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 7: Lista de doubles usados en tipo 1</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 8: Lista de Strings usadas en tipo 1</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 9: Lista de doubles usadas en tipo 2</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 10: Lista de Strings usadas en tipo 2</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 11: Lista de Strings y doubles usadas en Ecuación de Marin</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 12: Análisis de esfuerzos</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 13: Estado tensional en las secciones</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 14: Coeficiente de seguridad según los distintos criterios</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 15: Resultados criterio de Goodman</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 16: Resultados criterio de Soderberg</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 17: Resultados criterio de Gerber.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 18: Coste de formación</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 19: Coste de desarrollo.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 20: Coste de equipos</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 21: Otros costes</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 22: Coste total</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 23: Presupuesto final</i>	<i>160</i>



Índice de Ecuaciones

<i>Ecuación 1: Fuerza alternante y media</i>	40
<i>Ecuación 2: Esfuerzo Axil</i>	40
<i>Ecuación 3: Momento Flector</i>	40
<i>Ecuación 4: Momento Torsor</i>	40
<i>Ecuación 5: Tensión equivalente</i>	41
<i>Ecuación 6: Tensión media y alternante</i>	41
<i>Ecuación 7: Tensión alternante y media en ejes en rotación debido a flexión</i>	42
<i>Ecuación 8: Tensión alternante en ejes debido a flexión</i>	42
<i>Ecuación 9: Tensión alternante y media en ejes en rotación debido a torsión</i>	43
<i>Ecuación 10: Tensión media en ejes debido a torsión</i>	43
<i>Ecuación 11: Ecuación de Marin</i>	54
<i>Ecuación 12: Factor de acabado superficial</i>	54
<i>Ecuación 13: Factor de tamaño-axil</i>	56
<i>Ecuación 14: Factor de tamaño-flexión y torsión</i>	56
<i>Ecuación 15: Área Efectiva</i>	56
<i>Ecuación 16: Diámetro equivalente</i>	57
<i>Ecuación 17: Factor tipo de carga-axial</i>	57
<i>Ecuación 18: Factor tipo de carga</i>	58
<i>Ecuación 19: Factor de temperatura</i>	58
<i>Ecuación 20: Factor de efectos diversos-Concentración de tensiones</i>	60
<i>Ecuación 21: Factor de concentración de tensiones a fatiga</i>	60
<i>Ecuación 22: Criterio Goodman</i>	64
<i>Ecuación 23: Criterio Soderberg</i>	65
<i>Ecuación 24: Criterio Gerber</i>	65
<i>Ecuación 25: Punto A Criterio Goodman</i>	67
<i>Ecuación 26: Cálculo del factor de seguridad</i>	67
<i>Ecuación 27: Criterio Goodman-Factor de seguridad</i>	67
<i>Ecuación 28: Criterio Soderberg-Factor de seguridad</i>	68
<i>Ecuación 29: Criterio Gerber-Factor de seguridad</i>	68
<i>Ecuación 30: Módulo momento flector</i>	94
<i>Ecuación 31: Tensión alternante</i>	94
<i>Ecuación 32: Tensión media</i>	94





Capítulo I

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO



1.1 Motivación del Proyecto

En la actualidad casi toda máquina rotatoria está dotada de ejes de transmisión, con el fin de transmitir movimientos y potencias de un punto a otro. Dentro del mundo del transporte encontramos claros ejemplos de uso en la industria de la automoción, ferroviaria, naval y aeronáutica.

En la automoción los ejes de transmisión conectan el motor con un diferencial capaz de distribuir la fuerza a las ruedas, por otro lado los ejes ferroviarios es donde se montan las ruedas y descansa toda la estructura. De la industria aeronáutica resaltamos los helicópteros y la conexión del motor a los diferentes rotores. Para acabar hacemos un especial énfasis a la industria naval, ya que es donde encontramos los ejes de transmisión más grandes y pesados, que conectan los gigantes motores con las hélices.

Por todo ello observamos que los ejes de transmisión son elementos de una enorme utilidad e importancia, son elementos fabricados en acero generalmente y presentan un baja defectología. Aun presentando una baja defectología, un fallo durante servicio puede resultar catastrófico, llegando incluso a la pérdida de vidas humanas. De ahí la importancia de profundizar en el estudio de análisis estructural para evitar posibles fallos

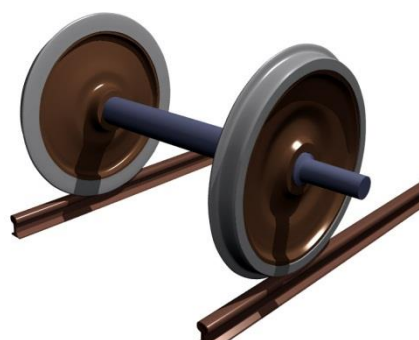


Fig 1 Eje de transmisión de un camión y Eje ferroviario montado

Por otro lado, la batalla tecnológica que se libra en la actualidad en torno a las telecomunicaciones ha producido una alta sofisticación del mundo de la telefonía móvil. Las múltiples y diferentes compañías están constantemente lanzando nuevos productos con slogans atractivos con el fin de atraer la atención del consumidor (“trabaja desde casa y comparte con tus compañeros”, “nueva cámara capaz de captar movimiento”, “ligereza y rendimiento ¿es posible?”,...).

Antiguamente el teléfono móvil era una herramienta con la que uno llamaba, mandaba mensajes y con suerte podía cambiar dos o tres melodías. Hoy, sin duda su hermano pequeño los Smartphone o teléfonos inteligentes han tomado el relevo, hablamos de terminales móviles capaces de desempeñar una infinidad de tareas; desde conectarse a internet, abrir documentos de texto, sincronizarse con el resto de aparatos informáticos que uno desee, modificar fotografías...

La aparición de los Smartphones supuso el desarrollo de sistemas operativos parecidos al de los PC pero mucho más simples, entre los que encontramos Android, iOS, Blackberry, Symbian OS, Windows Phone, etc.

Según datos del tercer trimestre del 2012 [6] en cuanto a uso de sistemas operativos móviles en teléfonos inteligentes en todo el mundo, estos fueron los resultados:

1. Android 72,4 %
2. iOS 13,9 %
3. BlackBerry OS 5,3 %
4. Symbian OS 2,6 %
5. Windows Phone 2,4 %
6. Bada 3,0 %
7. Otros 0,4 %

Junto a los Smartphones tenemos también las tabletas, dispositivos de mayor tamaño con un rendimiento superior y que al igual que los teléfonos inteligentes se están convirtiendo en equipos que se encuentran en cualquier casa o puesto de trabajo, debido a su mayor facilidad de uso con respecto a un ordenador de sobremesa o portátil. La gran evolución de estos dispositivos no solo no ha pasado desapercibida para el consumidor sino que ha atraído a un gran número de empresas desarrolladoras de software en busca de un negocio potencial, las aplicaciones.

Las aplicaciones son pequeños programas que se instalan en nuestros dispositivos con la finalidad de resolver una tarea. Podemos encontrar desde editores de texto, hojas de cálculo, libros... Pero lo que sin duda podemos apreciar la importancia de esta nueva forma de comunicación que ha llevado a la creación de una aplicación de programas como Matlab o AutoCad.

La finalidad de estas aplicaciones en el ámbito de la ingeniería es la de proporcionarnos una herramienta fácil y accesible en cualquier momento para poder realizar una primera aproximación a lo que queremos estudiar. Sin duda alguna si queremos profundizar y apoyarnos en un cálculo más exacto emplearíamos las versiones más completas disponibles para ordenadores.



Fig 2 Ejemplos de Smartphones y Tabletas

La motivación para la realización de este proyecto es, la realización de un proyecto real dentro del campo de la ingeniería mecánica e informática que se perfila de gran importancia en un futuro inminente. Este proyecto, se fundamenta en el diseño e implementación de una aplicación Android, fácil y accesible que cubra una primera aproximación al estudio del coeficiente de seguridad en ejes para el fenómeno de la fatiga.

1.2 Objetivos del Proyecto

El objetivo principal del presente proyecto Fin de Carrera es el diseño e implementación de una aplicación para Smartphones, sobre soporte Android, para estudiar el fenómeno de la fatiga en ejes y calcular el coeficiente de seguridad para un eje dado.

El desarrollo de aplicaciones para Smartphones y tabletas dentro del campo de la ingeniería es una propuesta ambiciosa y con una gran demanda actualmente, más aun cuando el sistema operativo escogido cubre más de la mitad de la cuota de mercado en cuanto a uso de sistemas operativos, en teléfonos inteligentes se refiere.

La consecución del objetivo principal de este proyecto, lleva asociado la superación de una serie de objetivos secundarios importantes que se detallan a continuación:

- Recopilación de información de cómo desarrollar y crear aplicaciones Android.
- Búsqueda de software genérico en el que implementar la aplicación.
- Realizar un manual de uso del software Eclipse.
- Diseñar aplicaciones de prueba en el software Eclipse.
- Creación de un modelo capaz de interpretar y calcular el estado de cargas presente en dos estructuras diferentes, adaptable a un entorno programable.
- Implementación del modelo en el software Eclipse.
- Disponibilidad de aplicación tanto en inglés como en castellano.
- Realizar un juego de pruebas (para varios casos posibles) que verifique la correcta operatividad de la aplicación creada.

En cuanto a los medios empleados para la realización de este proyecto Fin de Carrera se emplearán el programa Eclipse, para el desarrollo de nuestra aplicación en Android. Eclipse es un entorno de desarrollo integrado de código abierto multiplataforma.

1.3 Fases del Proyecto

En un proyecto de ingeniería genérico hay que definir unas fases de desarrollo para la consecución del objetivo perseguido. Los proyectos de innovación proporcionan una mayor libertad a la hora de llevarlos a cabo, ya que no establecen ninguna restricción previa para cumplir los objetivos del proyecto. La primera parte del mismo es de diseño y por tanto libre a la imaginación del que lo realiza, mientras que la segunda parte y principal se basa en datos e interpretaciones donde habrá que realizar comparaciones y sacar conclusiones.

Para la consecución del objetivo se abordaron las siguientes fases:

- **Fase I: *Estudios previos.***

En esta fase se plantean los objetivos, motivaciones y necesidades que la aplicación debe cumplir. Se realiza un diseño conceptual y sobre él se hacen los estudios de viabilidad funcional.

- **Fase II: *Diseño y simulación.***

En la segunda fase se modela el diseño de la aplicación para la simulación y obtención de datos. Después los datos serán analizados y se valorará si hay que realizar modificaciones sobre el modelo preliminar de la aplicación.

- **Fase III: *Implementación final.***

Si los resultados del modelo son satisfactorios y cumple con los objetivos establecidos, se procederá a implementar el diseño final, el cual se someterá a las pruebas oportunas que determinen, que efectivamente, son válidos y funcionan correctamente.



Fig 3 Fases del proyecto

1.4 Estructura de la Memoria

Este documento se encuentra dividido en 9 capítulos, incluyendo la bibliografía. Seguidamente, se describe el contenido de cada uno de ellos.

- **Capítulo 1- Motivación y Objetivos del Proyecto.**

En este primer capítulo, se exponen las motivaciones y los objetivos del Proyecto, se explicaran las distintas fases que se han llevado a cabo para la consecución del mismo y, por último, la estructura de la memoria con los temas desarrollados en cada capítulo.

- **Capítulo II- Introducción a Ejes de Transmisión.**

Este capítulo será de desarrollo meramente teórico, en él se dará una definición a lo que es un eje y los tipos de ejes que podemos encontrar. Se expondrá una lista detallada de los pasos a seguir por cualquier ingeniero para poder diseñar un eje y se analizara el estado tensional del mismo debido a los esfuerzos presentes.

- **Capítulo III- Introducción a la Fatiga.**

El tercer capítulo de la memoria tratara sobre el fenómeno de la fatiga, desde su iniciación y propagación hasta los métodos de análisis para evitar dicho fenómeno durante servicio. Aparecerá una pequeña cronología de cómo este fenómeno ha sido estudiado a lo largo de la historia desde sus primeras apariciones.

- **Capítulo IV- Metodología**

El capítulo de metodología mostrara las pautas a seguir para la creación de nuestra aplicación. Se describe el proceso mediante el cual *Eje.Max* queda definido al igual que muestra cada una de las pantallas de las que se compone y su funcionamiento.

- **Capítulo V- Análisis de Resultados. Prueba de funcionamiento de la aplicación**

Se propondrá un ejercicio resuelto para comparar resultados y resaltar la funcionalidad de la herramienta que a su vez servirá a modo de manual de instrucciones. Mostrará los pasos a seguir para el estudio del análisis de fatiga.

- **Capítulo VI- Aplicaciones de Exploración**

En el séptimo capítulo se mostrara una serie de pantallazos de dos aplicaciones previas que se han realizado y que han servido de base para la creación de *Eje.Max*.

- **Capítulo VII- Conclusiones y Futuros Trabajos**

En este capítulo se obtienen las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del Proyecto Fin de Carrera y se proponen trabajos futuros relacionados con la evolución de la aplicación.

- **Capítulo VIII- Presupuesto**

Se ofrece una estimación del presupuesto destinado a la elaboración del proyecto.

- **Capítulo XI- Bibliografía**

En el capítulo de bibliografía se exponen y enumeran los principales documentos bibliográficos y electrónicos consultados durante la realización del presente proyecto.





Capítulo II

INTRODUCCIÓN A EJES DE TRANSMISIÓN



2.1 Ejes de Transmisión

Un eje de transmisión es un elemento rotatorio que por lo general es de sección circular y sirve para transmitir movimiento y par de torsión de un sitio a otro. Los ejes de transmisión pueden llevar montados distintos elementos mecánicos de transmisión de potencia como engranajes, poleas, volantes...

Son elementos mecánicos que durante su vida estarán sometidos a cargas de flexión, tracción, compresión o torsión que pueden actuar de forma individual o de forma conjunta. Más adelante se profundizará en el estudio de estas cargas ya que los esfuerzos de torsión y flexión requieren un estudio más profundo.

2.2 Configuración de Ejes a Estudiar

En este Proyecto Fin de Carrera haremos el estudio de dos configuraciones concretas que son la de un eje de transmisión biapoyado y la de un eje ferroviario.

2.2.1 Eje de transmisión biapoyado.

Aunque por su propia definición este engloba a la gran mayoría, la limitación que se va a aplicar es que los apoyos se encuentren en los extremos siendo uno fijo y el otro móvil. Es una configuración típica encontrada en ejes de aerogeneradores o sistemas de transmisión de máquinas entre otros.

2.2.2 Eje ferroviario

El papel del ferrocarril en la actualidad, desempeña un papel importantísimo en nuestra sociedad tanto en el transporte de mercancías como en el de personas. Las nuevas tendencias tienden a un aumentar la densidad del tráfico ferroviario y el volumen de carga que los ejes deben soportar.

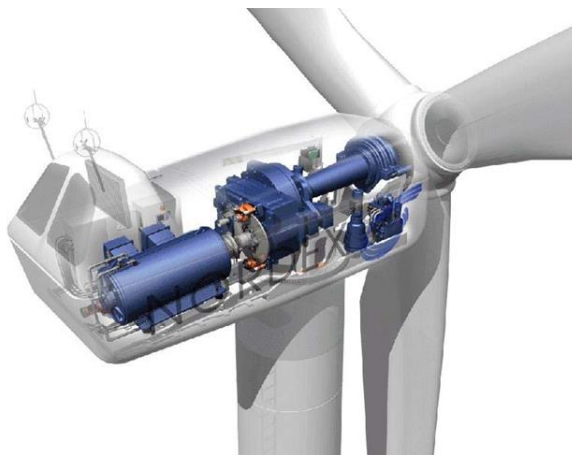


Fig 4 Configuración de un aerogenerador con su eje de transmisión

2.3 Tipos de Ejes

Debido a las distintas necesidades que presenta cada transmisión según la aplicación, podemos encontrar una variedad de ejes que se adecuan a dichas necesidades.

2.3.1 Lisos

Son ejes con una forma cilíndrica perfecta donde se puede variar la posición de los cojinetes, apoyos, etc. Se suelen emplear cuando tenemos esfuerzos de torsión media.

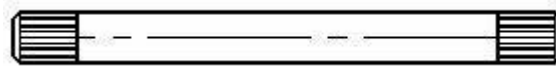


Fig 5 Eje Liso

2.3.2 Escalonado

Este tipo de ejes se caracteriza por tener una variación del diámetro a lo largo de su longitud, esto ocurre debido a los distintos elementos de transmisión de potencia que lleva consigo. Soporta distintos momentos torsores a lo largo de su longitud

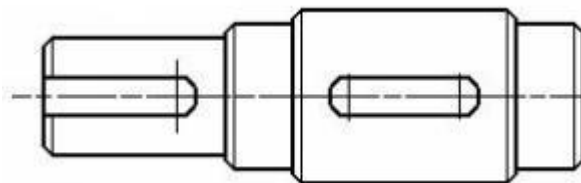


Fig 6 Eje Escalonado

2.3.3 Ranurado

Presentan pequeñas ranuras en su exterior siendo de pequeña longitud estos ejes. Sirven para transmitir momentos torsores elevados.

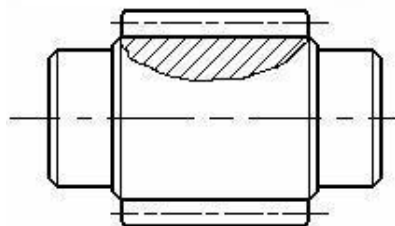


Fig 7 Eje Ranurado

2.3.4 Hueco

Su uso radica en que permiten el paso de otro eje macizo a través de su interior y presentan una menor inercia.

2.3.5 Acodado

Cuando sea necesario transformar movimientos alternativos en movimientos giratorios o viceversa, emplearemos ejes de este estilo. Presentan momentos torsores importantes en ciertos puntos y se diferencian del resto de ejes de transmisión ya que tienen forma de cigüeñal y no de línea recta.



Fig 8 Eje Acodado

2.4 Diseño de Ejes de Transmisión

En el diseño de la geometría de un eje de transmisión hay que tener presentes una serie de consideraciones previas, tales como, las cargas externas que actúan sobre nuestro eje y las tensiones que estas generan al igual que las formas de sustentación del mismo que ya han quedado definido previamente.

Una vez establecidos estos aspectos se indicaran los pasos a seguir para el diseño de un eje de transmisión:

1. Determinar la velocidad de giro.
2. Determinar la potencia o par a ser transmitida.
3. Obtener las dimensiones y las posiciones de todos los elementos de transmisión de potencia y fijación.

4. Normalmente serán dos el número de apoyos que tenga el eje de transmisión y deberán estar situados a cada lado de los elementos de transmisión de potencia para proporcionar un apoyo estable y cargas bien equilibradas.
5. Determinar las fuerzas ejercidas por los elementos de transmisión de potencia (ruedas dentadas, engranajes, poleas,...).
6. Obtener las fuerzas de reacción en los apoyos sobre cada plano y obtener los diagramas de esfuerzos sobre el eje de transmisión.
7. Seleccionar el material para la fabricación del eje, incluyendo su límite de fatiga y fluencia, dureza, acabado superficial, tratamientos térmicos, etc.
8. Realizar el cálculo a resistencia indicando las condiciones de carga consideradas y los valores de tensión admisibles adecuados.
9. Analizar cada punto crítico del eje para garantizar un coeficiente de seguridad frente a un estado de cargas y poder obtener el mínimo diámetro aceptable (costes). Consideraremos puntos críticos todos aquellos donde se presenten esfuerzos máximos de momentos flectores o torsores o combinaciones más desfavorables de los mismos. También serán puntos de análisis todos ellos donde puedan aparecer cualquier efecto de concentración de tensiones como en cambios de diámetros, zonas con algún tipo de entalla o zonas de chaveteros.
10. Por último, se especificara las dimensiones finales de cada punto del eje de transmisión. Nos ayudaremos de los resultados obtenidos en el paso 9, para la elección de los valores más adecuados. También se darán detalles de diseño como radios de acuerdo, dimensiones de los chaveteros o elección de tolerancias.

2.5 Materiales para Ejes de Transmisión

El acero es el material de mayor uso para la fabricación de ejes, con el fin de minimizar las deflexiones debido a su elevado módulo de elasticidad. Variando su composición y escogiendo bien los tratamientos térmicos y mecánicos se puede obtener un rango muy amplio de propiedades mecánicas haciendo de este la elección de material principal.

La mayor parte de los ejes están fabricados en acero de bajo o medio carbono ya sea estirado en frío o laminado en caliente. Como ejemplo podemos decir que para ejes de

diámetro pequeños se recurre usualmente a los aceros estirados en frío mientras que para los de mayor diámetro se usan aceros laminados en caliente. Esto se debe a que una aleación estirada en frío presenta unas propiedades mecánicas superiores.

Respecto a la aplicación el estirado en frío proporciona tenacidad, resistencia al impacto y una alta resistencia o si se requiere un cierto grado de resistencia al desgaste se laminara en caliente. Sin embargo el diseñador siempre deberá de tratar de usar aceros de bajo contenido en carbono con el fin de no aumentar el costo.

A una menor escala encontramos el uso de otros materiales como el aluminio y el hierro. Aunque el acero es muy versátil hay diversas aplicaciones en las que podemos aprovechar el uso de otros materiales, el aluminio por ejemplo se emplea en ejes de bicicletas o modelos de radio control.

2.6 Análisis de Cargas y Esfuerzos en Ejes

El estado de cargas más general presente en ejes de transmisión es la combinación de un par torsor y de un momento fluctuante, al tener elementos acoplados al eje pueden aparecer también cargas axiales. Los ejes de transmisión se encuentran en rotación continua lo que significa que el punto de aplicación de la carga va variando a lo largo de una rotación completa dando lugar a la aparición de esfuerzos fluctuantes.

2.6.1 Caracterización de esfuerzos fluctuantes.

Los esfuerzos fluctuantes a menudo toman la forma de un patrón sinusoidal, siendo de vital importancia el conocimiento del valor de la fuerza máxima y mínima. Cabe resaltar que también pueden aparecer patrones irregulares aunque se ha demostrado que para patrones periódicos en los que presentan una única fuerza máxima y mínima la forma de la onda no importa pero si el valor de esos dos puntos.

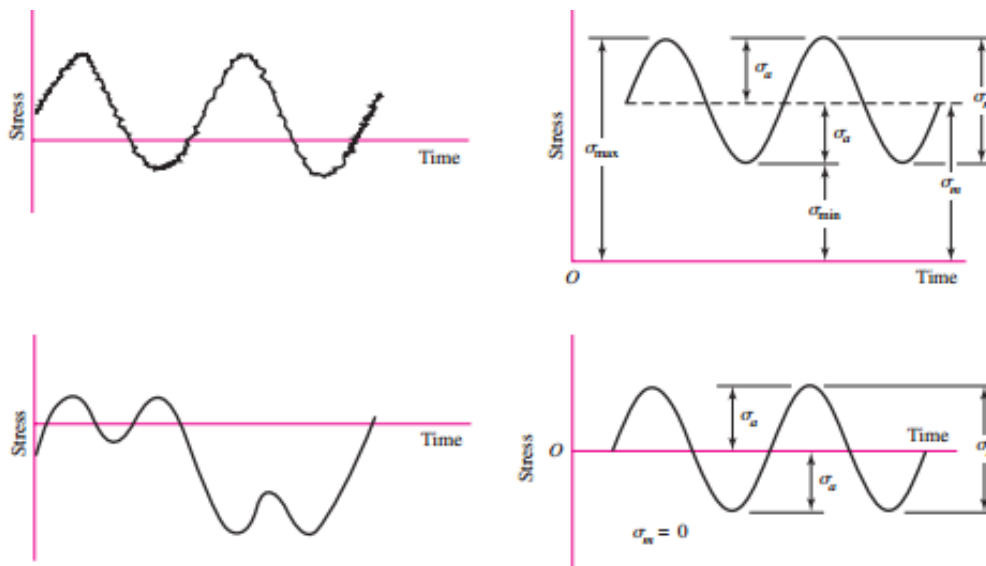


Fig 9 Esfuerzos Fluctuantes

Como resultado de tener una fuerza máxima y otra mínima aparecen dos nuevas fuerzas que servirán para calcular los estados tensionales presentes en un punto concreto, la fuerza alternante, F_a , y la fuerza media, F_m .

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

Ecuación 1 Fuerza alternante y media

2.6.2 Distribuciones tensionales a que dan lugar configuraciones típicas de esfuerzo en ejes en rotación.

Esfuerzo axial:

$$\sigma = \frac{N}{\Omega}$$

Ecuación 2 Esfuerzo Axil

Momento flector:

$$\sigma = \frac{Md}{2I}$$

Ecuación 3 Momento Flector

Momento torsor:

$$\tau = \frac{Td}{2J}$$

Ecuación 4 Momento Torsor

Definimos los siguientes parámetros como:

d = diámetro del eje.

I = Momento de inercia transversal del eje.

J = Momento de inercia polar del eje.

Concluimos que la tensión equivalente es:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Ecuación 5 Tensión equivalente

Finalmente hallaremos la tensión alternante y media con la Ecuación 1, solo que cambiando la fuerza por tensiones.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Ecuación 6 Tensión media y alternante

A continuación veremos un estudio más exhaustivo de cómo afecta la flexión y la torsión en eje en rotación.

2.6.3 Flexión en ejes en rotación

La siguiente figura muestra el estado tensional de un eje en rotación, donde P es el valor de la carga y w la velocidad angular del eje.

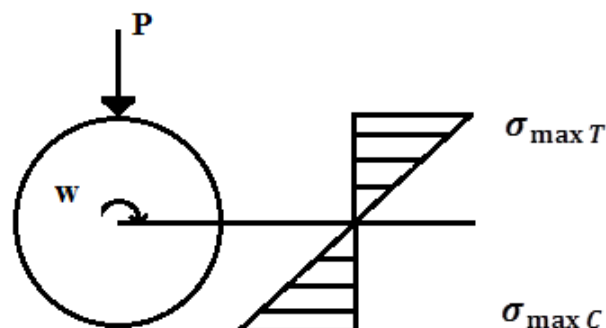


Fig 10 Estado tensional de un eje en rotación

De la figura anterior sacamos las siguientes conclusiones:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\max T} = \sigma_1; \quad \sigma_{\min} = \sigma_{\max C} = -\sigma_1$$
$$\sigma_a = \frac{\sigma_1 - (-\sigma_1)}{2} = \sigma_1; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_1 + (-\sigma_1)}{2} = 0$$

Ecuación 7 Tensión alternante y media en ejes en rotación debido a flexión

La flexión en ejes en rotación únicamente genera una tensión alternante pura.

Empleando la Ecuación 3 y conociendo el momento de inercia de un eje definimos la tensión alternante como:

$$\sigma_a = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

Ecuación 8 Tensión alternante en ejes debido a flexión

2.6.4 Torsión en ejes en rotación

De igual manera que en el apartado anterior, estudiaremos el efecto del momento torsor en un eje en rotación. La siguiente figura muestra las tensiones tangenciales creadas por el efecto de un momento torsor.

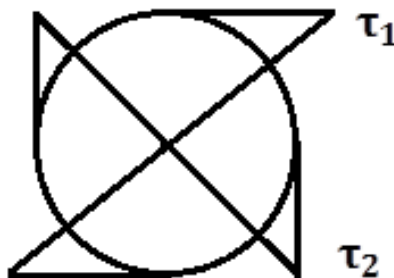


Fig 11 Tensiones tangenciales en un eje en rotación

De la figura anterior sacamos las siguientes conclusiones:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \tau; \quad \tau_2 = \tau \\ \sigma_a &= 0; \quad \sigma_m \neq 0\end{aligned}$$

Ecuación 9 Tensión alternante y media en ejes en rotación debido a torsión

La torsión en ejes en rotación únicamente genera una tensión media pura.

Empleando la Ecuación 4 y conociendo el momento de inercia polar de un eje definimos la tensión media como:

$$\sigma_m = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

Ecuación 10 Tensión media en ejes debido a torsión





Capítulo III

INTRODUCCIÓN AL FENOMENO DE LA FATIGA



3.1 Introducción

Las máquinas y sistemas mecánicos empleados hoy en día para el desarrollo de las distintas actividades están sometidas a lo largo de su vida útil a una serie de cargas diferentes, siendo estas en su mayoría de carácter variable con el tiempo y causadas por fenómenos mecánicos, cambios de temperatura, rozamientos, exposición a ambientes químicamente corrosivos o incluso a la combinación entre alguno de estos fenómenos. La aparición continuada de estas cargas, bien de forma cíclica o aleatoria puede converger en la aparición de pequeñas grietas en el material. Dichas grietas tienden a aparecer en la superficie del material y van progresando a través de dicho material, mermando las capacidades mecánicas del material, pudiendo desembocar en un fallo repentino por fractura de la pieza. Este fenómeno se conoce como fallo por fatiga y es el principal causante de los fallos en componentes mecánicos pudiendo llegar a ocasionar grandes catástrofes tanto humanas como económicos o medioambientales.

La normativa ASTM lo define de una manera más general como “el proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que ocurre en un punto del material sujeto a tensiones y deformaciones de amplitudes variables y que produce grietas que conducen a una fractura total tras un número de ciclos”.

En la vida real observamos que repetidos ciclos de carga y descarga debilitan las piezas a lo largo del tiempo, incluso cuando los niveles de esfuerzo están muy por debajo de la tensión de rotura estática e incluso del límite elástico del material. Cada ciclo de fluctuación de la tensión deteriora o daña la pieza poco a poco y tras un número de ciclos determinado la pieza queda tan debilitada que se rompe por fatiga. Se observa en piezas metálicas que por debajo de un cierto valor de la tensión no se produce rotura por fatiga por muy elevado que sea el número de ciclos de trabajo de la pieza.

Las determinaciones experimentales son caras y conllevan un gran consumo de tiempo y dinero, de ahí la importancia del desarrollo de métodos de análisis fiables. Sin embargo, los análisis de crecimiento se hacen normalmente a partir de datos obtenidos en ensayos con carga de amplitud constante y la extrapolación del conocimiento y de los datos experimentales obtenidos en amplitud constante a los casos reales de carga, no es un problema sencillo. Unido al desconocimiento real de la secuencia de aplicación de las cargas, las cuales necesitan ser definidas estadísticamente, se produce el denominado efecto de secuencia o de interacción de cargas debido a la irregularidad de las mismas.

Todo esto hace que el fenómeno de la fatiga sea realmente complejo y requiera un estudio muy cuidadoso por parte del ingeniero de diseño. Ejemplos de fallo por fatiga los encontramos en ruedas de ferrocarril, plataformas marítimas, vehículos, alas de aviones, maquinas rotativas...

3.2 Historia de los fallos por fatiga

El fenómeno de la fatiga se observó por primera vez en 1800, cuando observaron que los ejes de los ferrocarriles de por entonces fallaban al poco de tiempo de estar en servicio. Los ejes se habían diseñado basándose en los conocimientos de ingeniería disponibles hasta la fecha, conocimientos que se basaban en el conocimiento de estructuras cargadas estáticamente.

Las cargas dinámicas por entonces era un fenómeno nuevo, introducido por la maquinaria movida a vapor. Se dieron cuenta que el esfuerzo a flexión en cualquier punto de la superficie del eje variaba cíclicamente de positivo a negativo a medida que el eje rotaba. Los primeros trabajos relacionados con la fatiga se atribuyen al ingeniero de minas alemán W. Albert, quien en 1829 realizó ensayos sometiendo a cargas y descargas sucesivos eslabones de cadenas de elevadores. No obstante, el término fatiga para denominar el fallo de materiales debido a cargas repetidas fue introducido más tarde por Poncelet en 1839.

El primer estudio en fatiga de metales se inició en 1842 a raíz de un accidente de ferrocarril ocurrido en Versailles (Francia), donde el 8 de mayo de 1842 en la línea Paris Motparnase-Versailles Rive Gauche, cuando un tren sobrecargado de pasajeros, procedente de Versailles, descarriló cerca del paso a nivel de “Les Gardes”, a la salida del túnel de Meudon. El tren era arrastrado por dos locomotoras, la de la cabeza con sólo dos ejes acoplados pesaba poco y la segunda, más potente y de más peso, era de tres ejes acoplados. Los mecánicos y maquinistas no consiguieron ajustar las fuerzas de las dos locomotoras y en una vía sin pendiente, la segunda locomotora, empujando a la primera, la sometió a esfuerzos tan importantes que dieron como resultado la rotura de un eje y el descarrilamiento de la máquina.

En 1843 Rankine publicó un estudio *Sobre las causas de la ruptura inesperada de los rodamientos de los ejes de ferrocarril (On the Causes of Unexpected Breakage of Journals of Railway Axes)*.

No es hasta 1870 que un ingeniero alemán, August Wohler (tras doce años de estudio) publicase la primera investigación científica de lo que se conoce como fallo por fatiga. Probó ejes hasta su fallo bajo cargas totalmente alternantes e identificó como “culpable” al número de ciclos de esfuerzo en concordancia con su variación en el tiempo. A su vez también encontró el límite de resistencia a la fatiga para los aceros, es decir un nivel de esfuerzos que puede ser tolerable para millones de ciclos de esfuerzos totalmente alternantes. El diagrama de Wohler o de S-N que se muestra en la siguiente figura se convirtió en la forma estándar de caracterizar el comportamiento de los materiales bajo cargas totalmente alternantes.

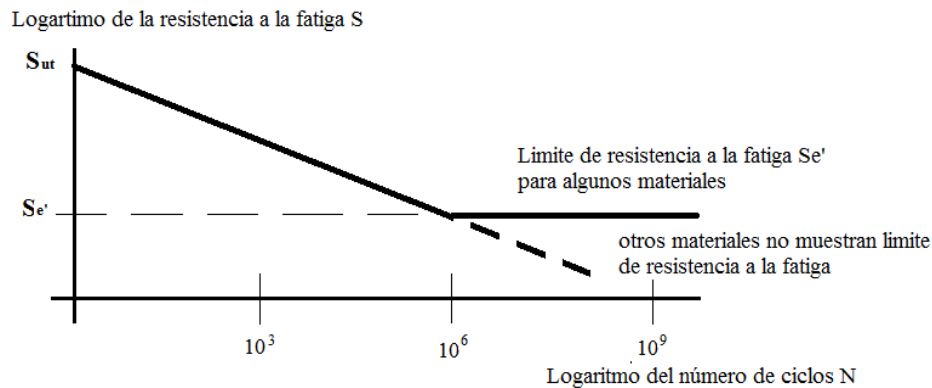


Fig 12 Diagrama Wohler (S-N)

El fallo por fatiga supone un coste muy importante para la economía de un país, Dowling propone, con base en datos del informe del gobierno de los Estados Unidos por Reed y colaboradores que:

“el costo anual para la economía de Estados Unidos por fatiga de los materiales, en dólares de 1982, es de alrededor de 100 000 millones, correspondiendo a aproximadamente el 3% del producto nacional bruto (PNB). Estos costos provienen de la ocurrencia o prevención de fallos por fatiga en vehículos terrestres, vehículos sobre rieles, aeronaves de todo tipo, puentes, grúas, ...”

No en vano este costo en la mayoría de casos implica la pérdida de vidas humanas. La primera aeronave a reacción comercial para pasajeros, el Comet británico, sufrió dos accidentes graves en 1954 debido a fallos de fatiga causados por los ciclos de presurización y despresurización de la cabina. Más recientemente un Boeing 737 de Aloha Airlines perdió un tercio de la parte superior de la cabina en pleno vuelo en 1988, debido a la fatiga a 25 000 pies de altura. Podemos enumerar un sinnúmero de casos de catástrofes debidas a fallos por fatiga y por ello en los últimos 150 años se ha trabajado mucho con el fin de determinar un mecanismo real para este fenómeno.



Fig 13 Accidente de Aloha Airlines

3.3 Fases del Fallo por Fatiga

El fallo por fatiga siempre se origina por la formación y propagación posterior de una grieta. Esta grieta puede haber estado presente desde la manufactura del material o haberse presentado a lo largo del tiempo por causas de deformaciones cíclicas cerca de las concentraciones de esfuerzos. Hay tres etapas en el fallo por fatiga, la iniciación de la grieta, la propagación de la grieta y la fractura súbita causada por el crecimiento inestable de la grieta.

3.3.1 Etapa de iniciación de las grietas

Partimos con una material dúctil que presenta zonas de concentración de esfuerzos pero que ha sido fabricado cuidadosamente y no presenta grietas. Debido a que se encuentra en rotación los esfuerzos en la muesca van variando y puede ocurrir fluencia plástica local aun cuando el esfuerzo es muy inferior al límite elástico del material, comienzan a aparecer bandas de deslizamientos a lo largo de los bordes cristalizados del material. A medida que los esfuerzos se alternan van produciéndose mayores bandas de deslizamiento que forman grietas microscópicas. En materiales sin muescas este mecanismo sigue funcionando siempre que se exceda el límite elástico del material.

Respecto a materiales menos dúctiles cuya capacidad a fluencia plástica es inferior tenderán a generar grietas con una mayor rapidez mientras que los materiales frágiles que no tienen pueden saltarse esta etapa y llegar directamente a la propagación de grietas.

Las grietas pueden aparecer por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica del material, ralladuras, arañazos, muescas y entallas causadas por las herramientas de fabricación o medios de manipulación.

3.3.2 Etapa de propagación de las grietas

Una vez aparece la micro grieta se crean concentraciones de esfuerzos superiores a los que había cuando estaba presente la muesca. A medida que los esfuerzos se alternan debido a los ciclos de carga, la micro grieta va comprimiéndose y expandiéndose haciendo que vaya creciendo poco a poco. El índice de crecimiento de propagación de las grietas es muy pequeño, del orden de $2,5 \times 10^{-8}$ a $2,5 \times 10^{-4}$ cm por ciclo, pero este se va acumulando durante un número muy elevado de ciclos.

Otro mecanismo de propagación de grietas es la corrosión. Las grietas crecerán con una mayor rapidez en entornos corrosivos, ya que el material empezara a corroerse también en la grieta. La combinación de un esfuerzo y de un entorno corrosivo tiene un efecto acumulativo aumentado y el material se corroe con mayor rapidez que si no estuviera esforzado, esto se conoce como corrosión por esfuerzo o agrietamiento asistido por el entorno.

3.3.3 Fractura

Siempre que estén presentes los esfuerzos cíclicos de tensión con cierta intensidad o factores de corrosión la grieta seguirá creciendo hasta que se produzca el fallo súbito y sin advertencia. La grieta al ir propagándose va reduciendo el área neta de la sección capaz de soportar el esfuerzo dejándola tan debilitada que es incapaz de soportar los esfuerzos.

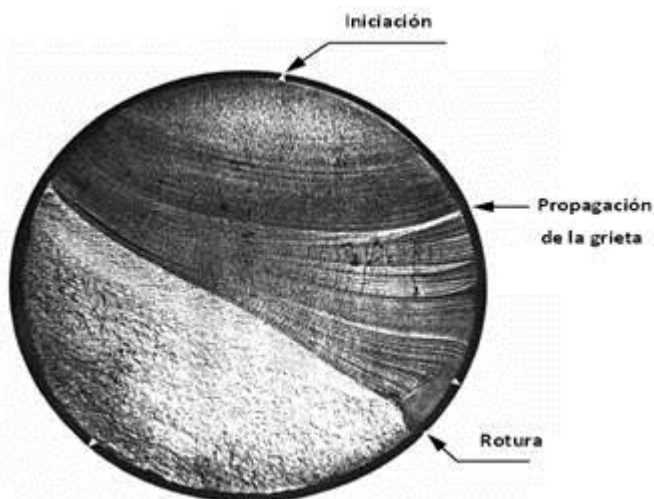


Fig 14 Fallo por fatiga

Identificar piezas que han fallado a fatiga es muy simple a la vista, ya que presentan un patrón muy claro. Ayudándonos de la figura anterior vamos a ir identificando cada una de las fases del fallo por fatiga. El punto de partida suele ser una zona muy oscurecida cerca de la superficie del material que queda rodeada por una serie de arcos circulares. Estos arcos circulares representan la propagación de la grieta a través de nuestro material hasta que encontramos una línea a partir de la cual no hay más arcos. En esa línea es donde ocurre la fractura o rotura del material.

3.4 Diagrama S-N

Para representar el número de ciclos que una probeta puede soportar bajo un determinado estado tensional se emplea el diagrama de Wohler o diagrama de fatiga. Para cumplimentar este diagrama se diseñó un ensayo que sometía una probeta de sección circular a un esfuerzo de flexión fijo.

De esta forma normalizando las características de la probeta y las condiciones del laboratorio surgió el ensayo de viga rotatoria.

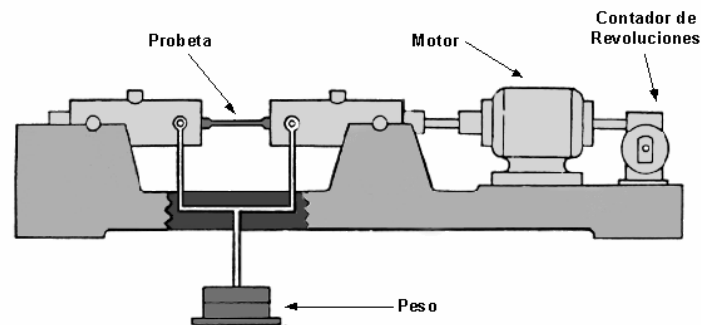


Fig 15 Ensayo de viga rotatoria

La generación de la curva S-N de un material requiere muchos ensayos para de una forma estadística variar las tensiones alternas, las tensiones medias y contar el nº de ciclos. Para caracterizar un material se toma un conjunto de probetas y se las somete a sollicitaciones variables con diferentes niveles de tensión, contándose el nº de ciclos que resiste hasta la rotura.

3.4.1 Zonas del diagrama de fatiga

El diagrama de fatiga en los materiales ferrosos presenta tres zonas bien diferenciadas, como se puede apreciar en la siguiente figura de un diagrama S-N.

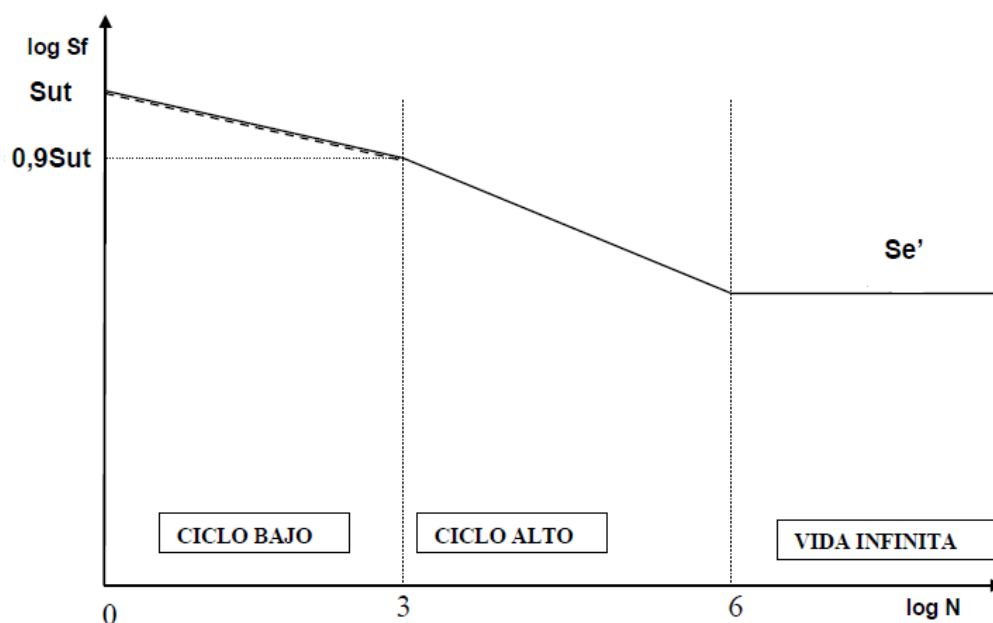


Fig 16 Diagrama S-N

Zona de ciclo bajo: siempre que el número de ciclos sea inferior a 10^3 . En esta zona el material se comporta de forma muy similar a como lo haría frente a cargas estáticas. Se aproxima estadísticamente el valor de la tensión a $0,9 S_{ut}$ para un número de ciclos igual a 10^3 .

Zona de ciclo alto: se sitúa entre los 10^3 y 10^6 ciclos. El material experimenta una reducción brusca de la resistencia a medida que el número de ciclos aumenta, al tiempo que se comprueba que el material se comporta de forma distinta a como lo haría frente a cargas estáticas.

Zona de vida infinita: para un número de ciclos superior a 10^6 existe un valor de la tensión por debajo de la cual la duración de la probeta es infinita. Siempre y cuando no se modifique el esfuerzo no se romperá. Esta tensión se conoce como límite de fatiga (S_e).

3.5 Corrección del Límite de Fatiga

Los valores del límite de fatiga mediante el ensayo de viga rotatoria son válidos para unas condiciones muy precisas que se encuentran en los protocolos de los ensayos normalizados. Las probetas son de un tamaño pequeño y su acabado superficial está muy cuidado.

Además el ensayo se lleva a cabo bajo unas condiciones ambientales muy controladas, con el fin de no introducir efectos de cargas no deseados. Sería poco realista esperar que el límite de fatiga de un componente mecánico coincidiese con los valores obtenidos en el laboratorio. Algunas diferencias incluyen:

- Material: composición, variabilidad.
- Fabricación: método, tratamiento térmico, condición de la superficie, concentración de esfuerzos.
- Medio: corrosión, temperatura, estado de stress.
- Diseño: tamaño, forma, vida, velocidad, rozamientos.

Autores como José Ignacio Pedrero Moya en su libro *Fundamentos Ejes, Acoplamientos y Apoyos* citan el límite de fatiga corregido como:

“Se conoce como límite de fatiga corregido S_e al valor de la tensión alternante máxima para vida infinita que puede soportar un sólido resistente en las condiciones de funcionamiento”.

Marin identificó una serie de factores que cuantificaban los efectos del acabado superficial, el tamaño, el tipo de carga, la temperatura, la confiabilidad y efectos diversos que tenían sobre el límite de fatiga. La ecuación de Marin queda expresada de la siguiente manera:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Ecuación 11 Ecuación de Marin

Dónde:

k_a : Factor de acabado superficial.

k_b : Factor de tamaño.

k_c : Factor de tipo de carga.

k_d : Factor de temperatura.

k_e : Factor de confiabilidad.

k_f : Factor de efectos diversos.

S'_e : Límite de fatiga sin corregir.

En ausencia de datos experimentales, lo más conveniente es emplear los valores recomendados por esta expresión, hasta la fase de ensayo de prototipo y observación del comportamiento de la pieza en servicio para corroborar si la elección realizada ha sido la correcta o no. A continuación se desarrollan cada uno de esos factores.

3.5.1 Factor de acabado superficial.

Las probetas empleadas en el ensayo de viga rotatoria están muy pulidas y además se le da un pulido final en la dirección axial para eliminar cualquier ralladura circunferencial. Se comprueba que acabados peores reducen el límite de fatiga, y que esta reducción es mayor cuanto mayor es la resistencia última del material, esto se debe a la existencia de una mayor rugosidad en la superficie de la probeta que produce un fenómeno de concentración de tensiones.

El factor de acabado superficial se puede obtener mediante la siguiente ecuación obtenida por correlación estadística de un considerable número de resultados experimentales.

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Ecuación 12 Factor de acabado superficial

Donde a y b vienen dados en la siguiente tabla, en función del acabado superficial.

Tabla 1 Coeficientes para el cálculo del factor de acabado superficial

Acabado Superficial	Coeficiente a (S_{ut} en MPa)	Exponente b
<i>Pulido</i>	1	0
<i>Buen acabado</i>	1,58	-0,085
<i>Estirado en frío</i>	4,51	-0,265
<i>Laminado en caliente</i>	57,7	-0,718
<i>Forjado</i>	272	-0,995

El factor de factor superficial k_a para el acero también se puede sacar de la siguiente figura.

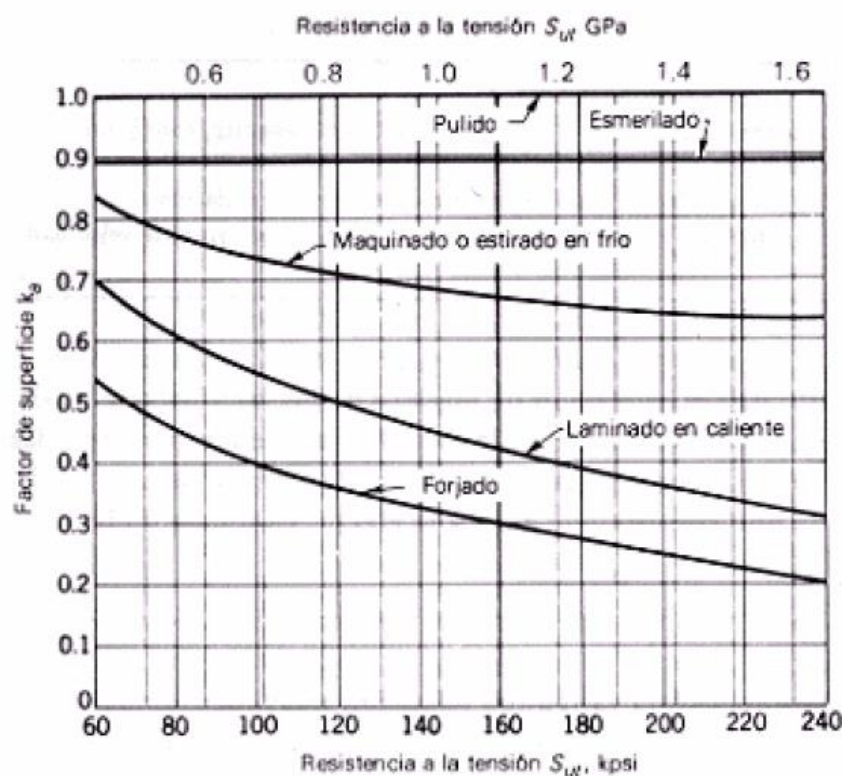


Fig 17 Factor k_a en función del acabado superficial y resistencia última a la tracción

3.5.2 Factor de tamaño

Los diámetros de las probetas normalizadas para el ensayo de viga rotaria tienen un diámetro de 0,3 pulgadas o 0,76 cm. Son especímenes muy pequeños y si la pieza es mayor habrá que aplicarla un factor de tamaño de reducción de esfuerzos para tomar en consideración el hecho de que piezas mayores fallan a esfuerzos menores, debido a una mayor probabilidad que en un volumen bajo esfuerzo haya un defecto. El factor de tamaño se evalúa según el tipo de esfuerzo que tengamos presente.

Para el caso de carga axial, el tamaño no influye en el límite de fatiga, por lo tanto:

$$k_b = 1$$

Ecuación 13 Factor de tamaño-axil

En el caso de flexión y torsión el factor de tamaño se puede evaluar mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} k_b &= \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,1133} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ k_b &= 1,189d^{-0,097} & 52 \leq d \leq 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ecuación 14 Factor de tamaño-flexión y torsión

Para poder emplear las expresiones anteriores en el caso de secciones no circulares sometidas a flexión y torsión es necesario disponer de un diámetro equivalente de manera que la reducción porcentual del límite de fatiga de una probeta con un diámetro igual al diámetro efectivo, sea igual a la reducción porcentual del límite de fatiga de la sección del sólido que se está considerando. Este diámetro efectivo se determina a partir del área de 95% del esfuerzo, que se designa como A_{95} .

$$A_{95} = \frac{\pi}{4} [d^2 - (0,95d)^2] = 0,0766d^2$$

Ecuación 15 Área Efectiva

Despejando el diámetro equivalente obtenemos:

$$d_{equivalente} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}}$$

Ecuación 16 Diámetro equivalente

En la siguiente ilustración se muestran algunos ejemplos de figuras no circulares.

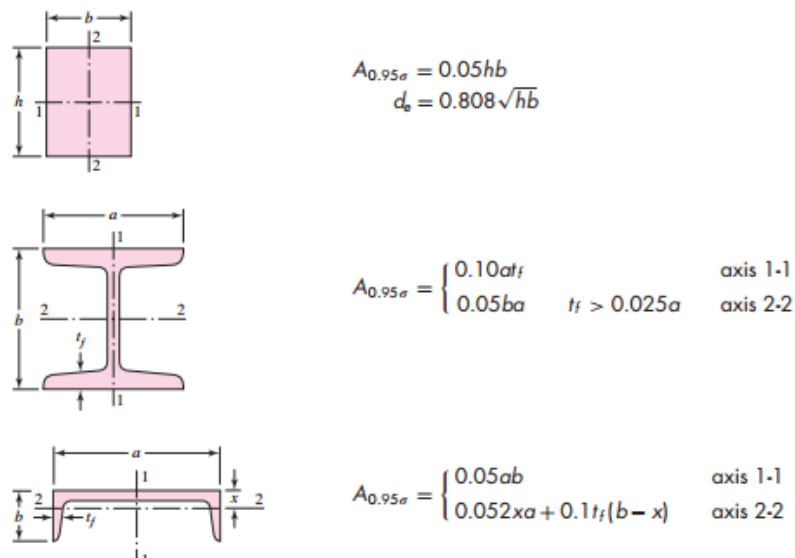


Fig 18 Factor de tamaño-piezas no circulares

3.5.3 Factor de tipo de carga

Respecto a este tipo de factor los criterios son algo dispares entre unos autores y otros. Haciendo referencia nuevamente al ensayo de viga rotatoria este se lleva bajo condiciones de flexión, por lo que hay que cuantificar los efectos de la carga axial.

En el caso de carga axial, cuando la resistencia última del material es igual o inferior a 1520 MPa, el factor de carga vale:

$$k_c = 0,923$$

Ecuación 17 Factor tipo de carga-axial

En todos los demás casos:

$$k_c = 1$$

Ecuación 18 Factor tipo de carga

3.5.4 Factor de temperatura

La temperatura modifica todas las propiedades mecánicas de un material, además de las resistencias a fluencia, última y de fatiga. Ya que resulta muy complicada su obtención se pueden emplear las siguientes expresiones para su cálculo.

$$\begin{aligned} k_d &= 1 & \text{Para } T \leq 450 \text{ } ^\circ\text{C} \\ k_d &= 1 - 0,0058(T - 450) & \text{Para } 450 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 550 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Ecuación 19 Factor de temperatura

3.5.5 Factor de confiabilidad

Existe una considerable dispersión en múltiples ensayos de un mismo material bajo las mismas condiciones de prueba. Haugen y Wirsching informan que las desviaciones estándar de la resistencia a la fatiga de los aceros rara vez exceden el 8% sobre sus valores medios. La siguiente tabla muestra los factores de reducción de resistencia para niveles de confiabilidad seleccionados.

Tabla 2 Factores de confiabilidad

Confiabilidad %	k_c
50	1
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,620
99,99999	0,584

3.5.6 Factor de efectos diversos

Este factor se emplea para modificar el límite de fatiga en función de otros factores no considerados anteriormente. Normalmente es necesario la realización de experimentos para cuantificarlos. Los factores de efectos diversos, k_f , más importantes son:

- Efectos residuales o remanentes.

Son esfuerzos que permanecen en el material en ausencia de carga, y pueden aumentar el límite de fatiga cuando son compresivos o disminuirlo cuando son tractores. Operaciones de modificación como el laminado en frío o el martillado ayudan a mejorar el límite de fatiga.

- Características direccionales operacionales.

El límite de fatiga de piezas fabricadas por estirado, laminado o forja, puede verse afectado por la direccionalidad de la operación que hace que el material se comporte de forma anisótropa. Así, la resistencia a la fatiga en dirección transversal puede llegar a ser un 10-20% inferior que en dirección longitudinal.

- Efecto de temple superficial.

Debido a los diferentes valores de los límites de fatiga en el núcleo de un elemento con temple superficial y la capa templada, se puede producir que se sobrepase este valor en la zona de unión del temple al núcleo.

- Efectos de corrosión.

La corrosión disminuye la resistencia a la fatiga ya que produce y desencadena un proceso de creación y posterior propagación de grietas en nuestro material. La siguiente ilustración muestra el efecto del agua del mar en el límite de fatiga del aluminio.

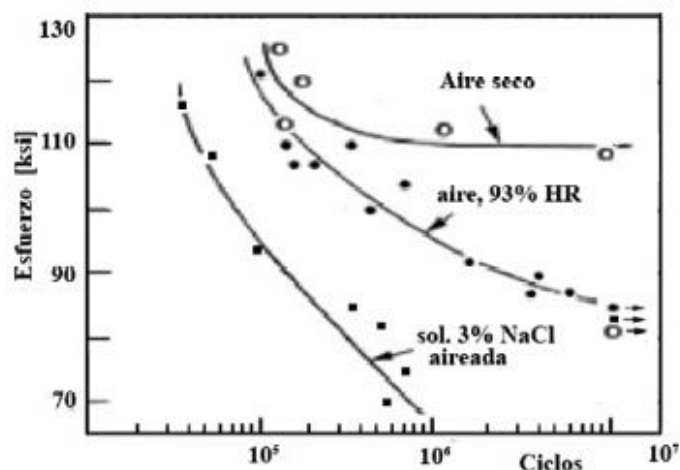


Fig 19 Efecto del agua de mar sobre el aluminio

- Recubrimiento electrolítico

Los recubrimientos electrolíticos suelen producir disminución de los límites de fatiga. Procesos como el cromado, niquelado o cadmiado pueden producir una reducción del límite de hasta el 50%, sin embargo los recubrimientos con zinc (galvanizado) no afectan al límite de fatiga.

- Corrosión por apriete

Se produce por el movimiento microscópico en la superficie de piezas mecánicas o estructuras estrechamente ajustadas (Uniones atornilladas, cojinetes o cualquier pieza muy ajustada son ejemplos). El proceso implica cambio de color de la superficie, picaduras, y fatiga eventual. El factor de pretensado k_f depende del material y su valor oscila entre 0,24 y 0,90.

Concentración de tensiones

Dentro de este apartado también se contempla el efecto de concentración de esfuerzo. La presencia de irregularidades o discontinuidades tales como agujeros, chavetas o entallas en un material incrementa significativamente el esfuerzo teórico en las proximidades de la discontinuidad. El factor de reducción del límite de fatiga por concentración de esfuerzo, viene dado:

$$k_f = \frac{1}{K_f}$$

Ecuación 20 Factor de efectos diversos-Concentración de tensiones

Donde:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Ecuación 21 Factor de concentración de tensiones a fatiga

Siendo:

q = el factor de sensibilidad a la entalladura.

K_t = factor de concentración de esfuerzos teóricos.

La evaluación del factor k_f se realiza siguiendo los pasos que se desarrollan a continuación:

1. Mediante las siguientes figuras evaluaremos el factor de concentración de tensiones teórico, K_t . Dicho factor depende la forma geométrica del elemento (sección circular o rectangular) y del tipo de esfuerzo al que se ven sometidos (tracción simple, flexión simple, torsión).

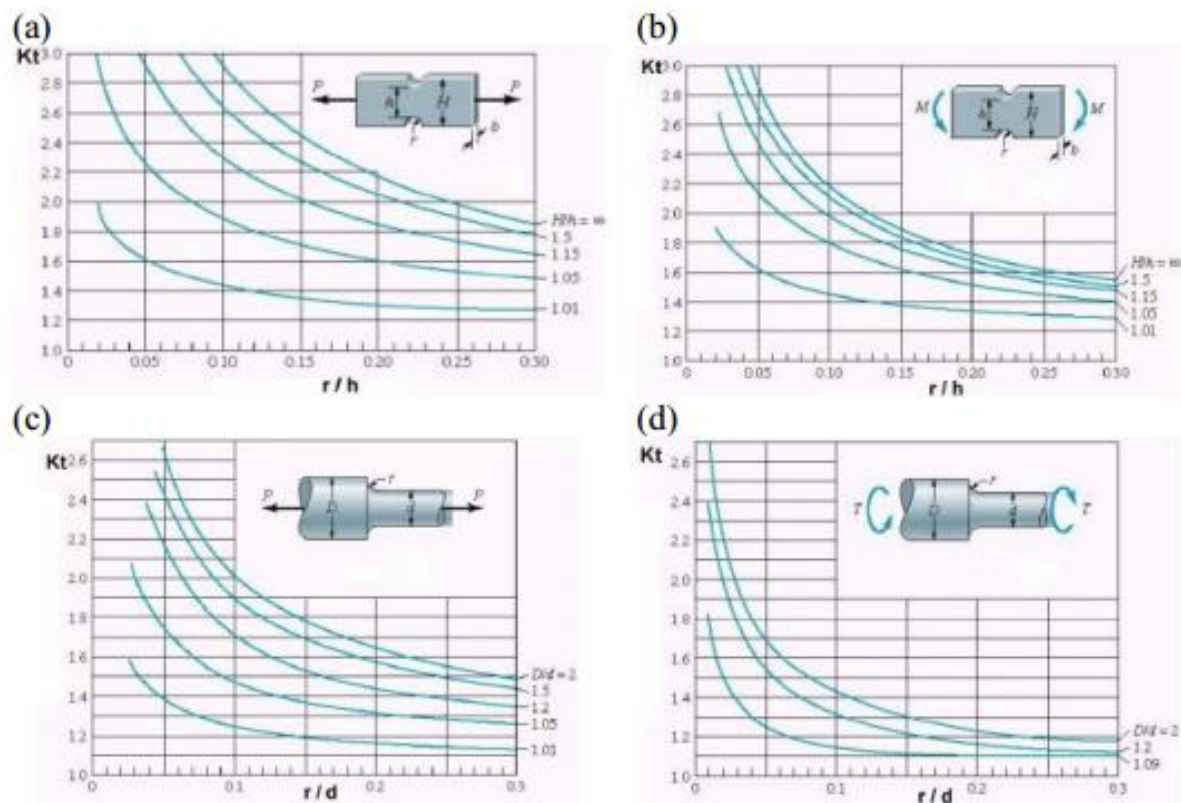


Fig 20 Barra de sección rectangular con dos muescas o recortes circulares sometida a tensión o compresión simples (a) y a flexión (b). Barra de sección circular con estrechamiento y entalles en torsión (c) y en flexión (d)

2. Conociendo el material, su resistencia última, su dureza y el tipo de esfuerzo al que está sometido podemos hallar el factor el factor de sensibilidad a las entalladuras, q . Dependiendo de la naturaleza de la carga emplearemos una de las siguientes graficas mostradas en las figuras siguientes.

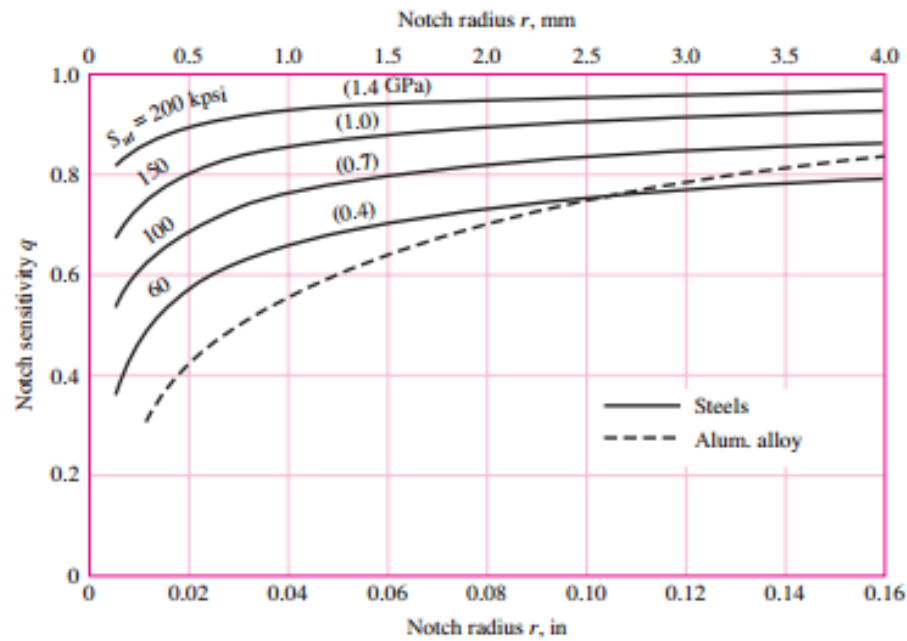


Fig 21 Sensibilidad a las ranuras para cargas de flexión y axiales alternantes

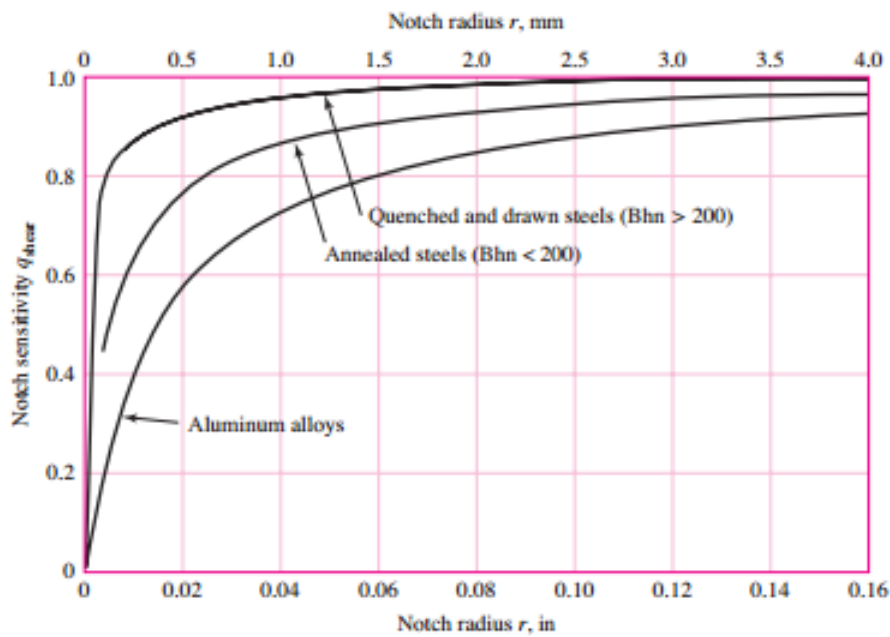


Fig 22 Sensibilidad a las ranuras para cargas de torsión alternantes

3. Finalmente haciendo uso de las ecuaciones 20 y 21 obtenemos el factor de efectos diversos debido a la concentración de tensiones.

3.5.7 Límite de fatiga sin corregir

La mejor información sobre la resistencia a la fatiga de un material a una cierta vida finita o su límite de resistencia a la fatiga a una vida infinita proviene de las pruebas de ensamblaje reales o de prototipos de diseño. Si esta información no resulta practica o posible la siguiente mejor fuente de información proviene de las pruebas a fatiga de especímenes tomados del material particular.

En ausencia de estos datos habrá que ayudarse de datos publicados para la resistencia a la fatiga, S'_e , del material. En la siguiente tabla se muestran las aproximaciones que se pueden adoptar para tres materiales (Aceros, hierros y aluminios).

Tabla 3 Límites de fatiga sin corregir

Acero	$S'_e = 0,5 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 1400$ MPa
	$S'_e = 700$ MPa	Para $S_{ut} \geq 1400$ MPa
Hierro	$S'_e = 0,4 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 400$ MPa
	$S'_e = 160$ MPa	Para $S_{ut} \geq 400$ MPa
Aluminio	$S'_e = 0,4 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 330$ MPa
	$S'_e = 130$ MPa	Para $S_{ut} \geq 330$ MPa

El resultado de la aplicación de estos factores es la obtención del límite de fatiga corregido, S_e . En la siguiente figura se muestra el resultado de aplicar la Ecuación de Marin en el diagrama S-N.

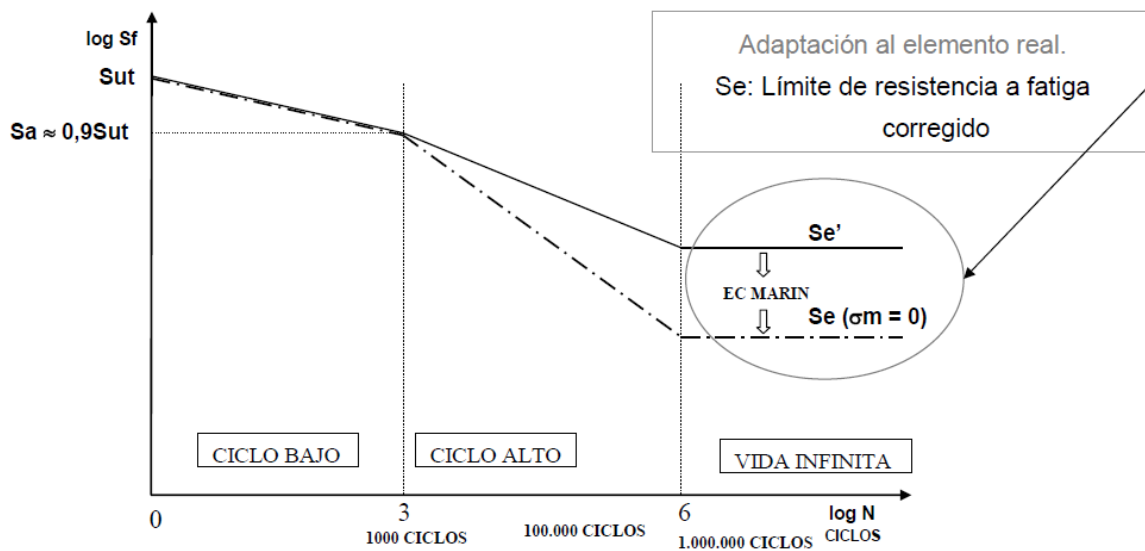


Fig 23 Diagrama S-N de una pieza sometida a tensión media nula

3.6 Métodos de Análisis con Tensión Media No Nula

Los esfuerzos repetitivos o fluctuantes tienen componentes medios distintos a cero y estos deben tomarse en consideración al determinar el factor de seguridad. En determinadas ocasiones no se puede contar con otra información experimental que no sea la correspondiente a los ensayos de flexión rotativa ($\sigma_m = 0$), y la influencia de la tensión media no nula se calcula por medio de varias relaciones empíricas que determinan el fallo en una vida determinada cuando las tensiones alternantes y medias son distintas de cero.

Los criterios más conocidos son los criterios de Goodman, Soderberg y Gerber.

3.6.1 Criterio de Goodman

Según este criterio la variación de la resistencia alternante con la tensión media se describe mediante una recta que pasa por los puntos (0, S_f) y (S_{ut} , 0). Es decir, el valor de la componente alternante para fallo a N ciclos es S_f , y para la tensión alternante nula (carga estática), la resistencia media o valor de la tensión media para fallo es S_{ut} . De esta manera la rotura a N ciclos se produce cuando:

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = 1$$

Ecuación 22 Criterio de Goodman

El criterio de Goodman constituye una más que aceptable aproximación a la realidad y es la más usada en la práctica

3.6.2 Criterio de Soderberg

Se trata de un criterio lineal, y predice, en ausencia de la tensión media ($\sigma_m=0$) la rotura se produce cuando $\sigma_a=S_f$, pero que para tensión alternante nula (carga estática) la rotura se produce para $\sigma_m=S_y$ (límite de fluencia). La condición de rotura a N ciclos es:

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_y} = 1$$

Ecuación 23 Criterio de Soderberg

El criterio de Soderberg previene contra el fallo por fluencia, en el sentido de que seguridad a fatiga conlleva seguridad a fluencia, es decir, asegura que la tensión máxima nunca superará el valor de la resistencia a fluencia. Son resultados conservadores y se utiliza menos que el criterio de Goodman.

3.6.3 Criterio de Gerber

Esta teoría no es lineal, y supone que la variación de σ_a con σ_m se representa mediante una parábola cuyo vértice es el punto $(0, S_f)$, su eje es el de ordenadas y pasa por el punto $(S_{ut}, 0)$. Así, la rotura a N ciclos se produce cuando:

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

Ecuación 24 Criterio de Gerber

Aunque el criterio de Gerber se ajusta bien a los datos experimentales, lo cual lo hace útil para el análisis de partes falladas, el criterio de Goodman es un criterio de fallo más conservador y de uso más común al diseñar piezas sujetas a esfuerzos medios además de alternantes.

La siguiente figura muestra la diferencia existente entre cada uno de los diferentes criterios mencionados anteriormente.

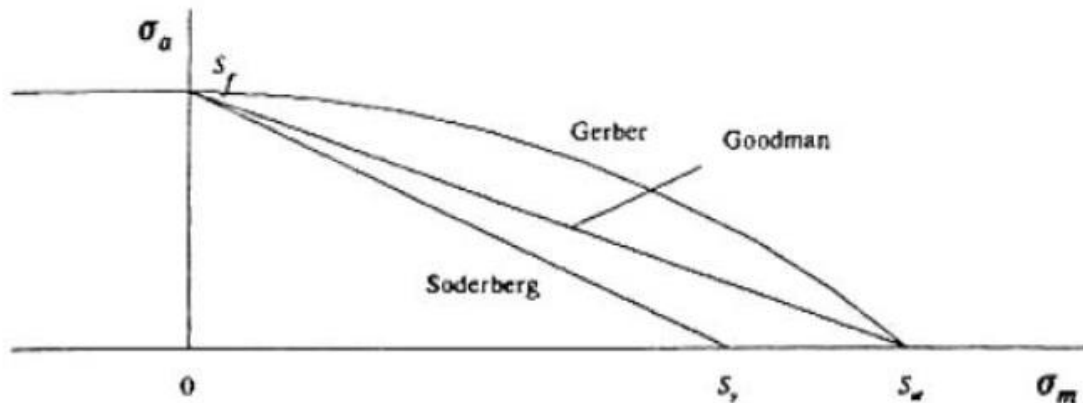


Fig 24 Criterios de fallo

3.6.4 Línea de carga. Factores de seguridad

En la mayor parte de los sistemas mecánicos, las propias características de funcionamiento hacen que las variaciones de la tensión alterna solo puedan presentarse acompañadas de variaciones de la tensión media.

Por ejemplo, en el caso de las tensiones sufridas por el diente de un engranaje. En la zona de engrane, la base del diente está sometida a un esfuerzo de flexión, mientras que en la zona de no engrane, el diente está libre de esfuerzos. Esto implica que el diente está sometido a unos esfuerzos fluctuantes entre un valor determinado y cero, lo que a su vez quiere decir que las tensiones medias y alternantes serán igual a la mitad de la tensión máxima. En caso de existir una sobrecarga, la tensión alterna aumentará, pero también lo hará la tensión media, y en este caso, manteniéndose ambas iguales. De esta forma, no es posible un aumento de la tensión alterna sin un aumento igual de la media.

Se llama línea de carga a la representación en un diagrama $\sigma_m - \sigma_a$ de los posibles estados tensionales del sistema que se analiza, cuando la carga externa experimenta variaciones, también físicamente posibles, de acuerdo con la naturaleza del sistema.

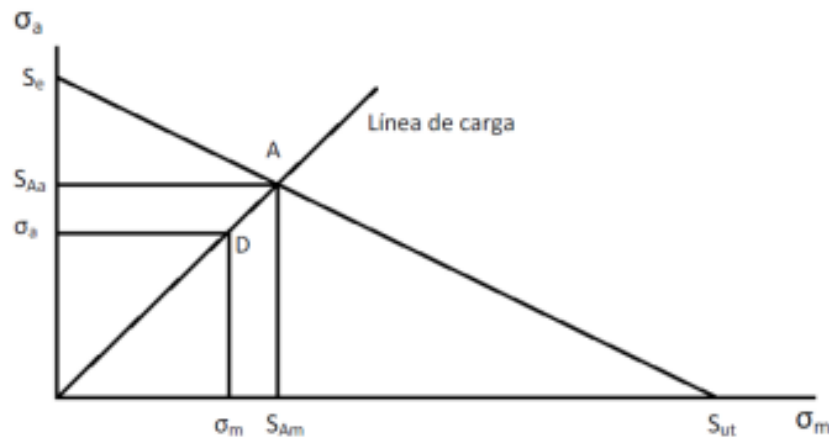


Fig 25 Línea de carga

El punto A representa la situación en la que se produce el fallo, en el caso de desejar vida infinita y verifica la ecuación de Goodman.

$$\frac{S_{Aa}}{S_e} + \frac{S_{Am}}{S_{ut}} = 1$$

Ecuación 25 Punto A Criterio Goodman

Si el factor de seguridad se considera como factor de aplicación de la carga, se trataría de buscar el número por que se ha de multiplicar la carga, y por tanto, las tensiones a las que afecta (punto D), hasta que las tensiones media y alternante fuesen las correspondientes al punto límite A.

$$\frac{n\sigma_a}{S_f} + \frac{n\sigma_m}{S_{ut}} = 1$$

Ecuación 26 Cálculo del factor de seguridad

De este modo queda definido el factor de seguridad para el criterio de Goodman como:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Ecuación 27 Criterio de Goodman-Factor de seguridad

De igual manera se lleva acabo el citado proceso con el resto de criterios quedando definidos de la siguiente manera.

Para el criterio de Soderberg:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Ecuación 28 Criterio de Soderberg-Factor de seguridad

Para el criterio de Gerber:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

Ecuación 29 Criterio de Gerber-Factor de seguridad



Capítulo IV

METODOLOGÍA



4.1 Etapas de Diseño

La finalidad de este proyecto Fin de Carrera es la de proporcionar una herramienta simple, fácil e interactiva para que cualquier persona que disponga un dispositivo Android pueda emplearla, ya sea un estudiante o un ingeniero de diseño. Dicha herramienta proporcionara un valor orientativo y aproximado del coeficiente de seguridad para un eje de transmisión. El organigrama empleado para la puesta a punto de la aplicación es el siguiente:



Fig 26 Organigrama del diseño de la aplicación

- ***Diseño Atractivo***
Su presentación y organización invita al usuario su uso.
- ***Fácil de Usar.***
Se ha buscado la simpleza en cuanto a la presentación de los datos y siempre que se ha podido todos los datos del menú correspondiente se expone en la pantalla sin necesidad de subirla o bajarla.
- ***Sencillo de Entender***
La aplicación está dividida en tres bloques principales expuestos de forma lineal descendente y cada uno de estos se desarrolla de la misma forma con tal de facilitar su uso al usuario.
- ***Interactivo***
En algunos de los submenús de la aplicación, esta establece un dialogo en forma de aviso si los datos introducidos son correctos o no.

Para la creación de la aplicación se hará uso de un programa informático conocido como Eclipse. De entre todos los sistemas software disponibles para desarrollar aplicaciones encontramos Eclipse, Yapp, Mobincube o Uppsite. Eclipse resalta sobre todos los

demás en cuanto dimensión, herramientas y facilidades al igual que es el recomendado por la propia web de desarrolladores de Google.

A continuación haremos una breve introducción y explicación de lo que es Eclipse y Android y de los pasos que hay que seguir para la creación y publicación de nuestra aplicación.

4.2 Introducción e Historia de Eclipse

Eclipse es una comunidad de personas y organizaciones que desean colaborar en el uso del comercio de software de código abierto. Sus proyectos se centran en la construcción de una plataforma de desarrollo abierta compuesta por marcos extensibles, herramientas y tiempos de ejecución para la construcción, despliegue y gestión de software a través del ciclo de vida de los mismos. La Fundación Eclipse es una organización sin ánimo de lucro y ayuda a cultivar tanto una comunidad de código abierto como un ecosistema de productos y servicios complementarios.

El proyecto Eclipse fue creado originalmente por IBM en noviembre de 2001 con el apoyo de un consorcio de proveedores de software, la Fundación Eclipse fue creada en enero de 2004 como una organización independiente sin ánimo de lucro que actuase como administrador de la comunidad Eclipse. Hoy en día, la comunidad Eclipse consiste en individuos y organizaciones de diversos sectores de la industria del software.

La Fundación se financia con las cuotas anuales de sus miembros y se rige por una junta de Administración. La Fundación cuenta con un personal profesional a tiempo completo para proporcionar servicios a la comunidad, pero no emplea a los desarrolladores de código abierto para que trabajen en los proyectos de eclipse. Más bien son los empleados de otras organizaciones y desarrolladores independientes quienes voluntariamente ofrecen su tiempo para trabajar en los proyectos de código abierto.

En general, la Fundación Eclipse ofrece cuatro servicios a la comunidad Eclipse:

- 1) Infraestructura IT
- 2) Gestión de la P.I
- 3) Proceso de Desarrollo
- 4) Desarrollo del Ecosistema

El personal a tiempo completo está asociado con cada una de estas áreas y trabaja con la comunidad Eclipse para ayudar a satisfacer las necesidades de los interesados

4.2.1 Versiones de Eclipse

Desde su creación Eclipse ha ido lanzando periódicamente nuevas actualizaciones de su software con el fin de seguir con la mejora continua. La fundación Eclipse tiene un programa de participación anónima y voluntaria conocido como UDC (Usage Data Collector) que recopila información de uso de eclipse para analizarla y sacar conclusiones de mejora para futuras versiones.

La siguiente figura muestra algunas de las actualizaciones más recientes.



Fig 27 Versiones de Eclipse

La versión que se va a utilizar para la realización de nuestra aplicación es la: Eclipse Indigo.

4.3 Android

Android es un sistema operativo basado en Linux, diseñado principalmente para dispositivos con pantalla táctil como teléfonos inteligentes (Smartphones) o tabletas. Fue desarrollado inicialmente por Android Inc y recibió el respaldo económico de Google, que finalmente la adquirió en 2005.

Android se encuentra en cientos de millones de dispositivos móviles en más de 190 países en todo el mundo. Es el mayor sistema para cualquier plataforma móvil y crece a un ritmo vertiginoso, se estima que cada día un millón de usuarios nuevos empiezan a usar un dispositivo Android, con el fin de buscar aplicaciones, juegos u otro contenido digital.

Según datos recogidos por la Wikipedia citan textualmente que:

“Las unidades vendidas de teléfonos inteligentes con Android se ubican en el primer puesto en los Estados Unidos, en el segundo y tercer trimestres de 2010 con una cuota de mercado de 43,6% en el tercer trimestre.

A nivel mundial alcanzó una cuota de mercado del 50,9% durante el cuarto trimestre de 2011, más del doble que el segundo sistema operativo (iOS de Apple, Inc.) con más cuota”.

Dicha fuente asegura que a lo largo del tercer trimestre de 2012 la cuota de mercado de uso de Android asciende a 72,4%.



Fig 28 Crecimiento de Android con el tiempo

La estructura del sistema operativo Android se compone de aplicaciones que se ejecutan en un framework Java de aplicaciones orientadas a objetos sobre el núcleo de las bibliotecas de Java en una máquina virtual Dalvik con compilación en tiempo de ejecución. Las bibliotecas escritas en lenguaje C incluyen un administrador de interfaz gráfica, un framework OpenCore, una base de datos relacional SQLite, una interfaz de programación de Api Grafica OpenGL, un motor de renderizado WebKit, un motor gráfico SGL, SSL y una biblioteca estándar de C Bionic. El sistema operativo está compuesto por 12 millones de líneas de código, incluyendo 3 millones de líneas de XML, 2,8 millones de líneas de lenguaje C, 2,1 millones de líneas de Java y 1,75 millones de líneas de C++.

Para la transmisión de estas aplicaciones se ha puesto en marcha un mercado de aplicaciones llamado Google Play. Se trata de un mercado abierto en el que puedes publicar tantas aplicaciones como quieras, tanto gratuitas como de pago, y dirigidas a los clientes que uno desea.

Puedes distribuir a todos los dispositivos o centrarte en segmentos específicos según la capacidad del hardware disponible, en los terminales.

4.3.1 Plataformas

Todos los dispositivos con sistemas operativos Android, montan o vienen equipados con una cierta plataforma, esta se identifica con un nivel API. El mundo de la informática es un mundo en constante cambio y evolución, y los sistemas operativos han de ser flexibles para poder incorporar estos cambios.

La siguiente figura muestra las distintas plataformas de Android con su nivel API.

Tabla 4 Plataformas Android

Versión	Nivel API	Nombre
1.6	4	Donut
2.1	7	Eclair
2.2	8	Froyo
2.3.3-2.3.7	9-10	Gingerbread
3.1-3.2	12-13	Honeycomb
4.03-4.04	15	Ice Cream Sandwich
4.1-4.2	16-17	Jelly Bean

Un estudio realizado por Google sobre el acceso de dispositivos Android a Google Play a lo largo de 14 días y acabando el 4 de Febrero de 2013 arrojó los siguientes datos:

Tabla 5 Distribución de Accesos

Versión	Nivel API	Distribución
1.6	4	0,2%
2.1	7	2,2%
2.2	8	8,1%
2.3.3-2.3.7	9-10	45,6%
3.1-3.2	12-13	1,3%
4.03-4.04	15	29%
4.1-4.2	16-17	13.6%

La importancia de estos datos radica en que una aplicación diseñada en una versión o plataforma puede ser ejecutada en versiones sucesivas pero nunca en versiones anteriores.

La versión de Android en la que desarrollaremos la aplicación del Proyecto Fin de Carrera será la 2.3.3 con Nivel API 10, aunque permitirá ejecutarse en versiones 2.2 (Froyo). La elección de esta plataforma se debe a que la versión 2.2 cubre el 97,6% de los dispositivos según el estudio y porque sus bibliotecas son muchas más extensas que la de sus predecesores (2.1 y 1.6).

4.4 Desarrollo del Proyecto

Una vez fijado la temática a desarrollar (cálculo del coeficiente de seguridad en ejes de transmisión), el mercado en el que queremos introducirnos (Android) y la herramienta con la que desarrollar nuestra aplicación Android (Eclipse) solo falta conocer el lenguaje de programación necesario para llevarlo a cabo. Programaremos usando el lenguaje de programación Java.

4.4.1 Introducción a Java y Android

Debido al desconocimiento inicial en este lenguaje de programación, comenzaremos con la ayuda de una guía práctica *Java SE 6 de F. Javier Moldes* para ir conociendo las bases de este lenguaje de programación y su funcionamiento.

Conocimiento de las variables (float, double, int, String), operadores (+, -, ++, --, %, ...) y de sus estructuras de control (do, if, else, ...) son de vital importancia para poder comenzar a hacer pequeños programitas Java.

Una vez adquirida cierta soltura con Java damos el salto a la programación en Android, aunque el lenguaje es Java para hacer aplicaciones Android hay pequeñas modificaciones en la declaración de las sentencias. Con la ayuda de video tutoriales y un curso de programación en Android, conseguimos crear nuestra primera aplicación Momentos de Inercia 2D.

Momentos de Inercia 2D es una aplicación que cuyo nombre revela, sirve para calcular momentos de inercia, en concreto analiza las del rectángulo, círculo y triángulo. A su vez también incluye una calculadora donde podemos realizar operaciones básicas. Dicha aplicación nos da una idea de cómo funciona la estructura de una aplicación y de los problemas que vamos a tener que dar solución para poder realizar nuestra versión definitiva.

4.4.2 Creación y estructura de una aplicación Android

Para empezar a entender cómo se construye una aplicación Android vamos a crear un nuevo proyecto Android en Eclipse y echaremos un vistazo a la estructura general del proyecto creado por defecto.

Para crear un nuevo proyecto abriremos Eclipse e iremos al menú *File / New / Android Application Project*.

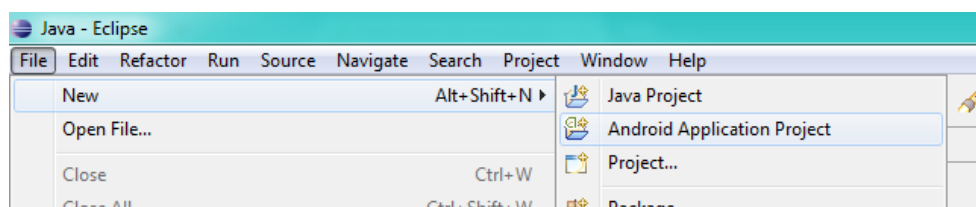


Fig 29 Paso1-Creación Aplicación

De esta se iniciara el asistente de creación del proyecto, que nos guiará por las distintas opciones de creación y configuración de un nuevo proyecto. En la primera pantalla indicaremos el nombre de la aplicación, el nombre del proyecto y el paquete java que utilizaremos en nuestras clases java. Tendremos que seleccionar además la mínima versión del SDK que aceptará nuestra aplicación al ser instalada en un dispositivo (*Minimum Required SDK*), la versión del SDK para la que desarrollaremos (*Build SDK*). El resto de opciones las dejaremos con los valores por defecto.

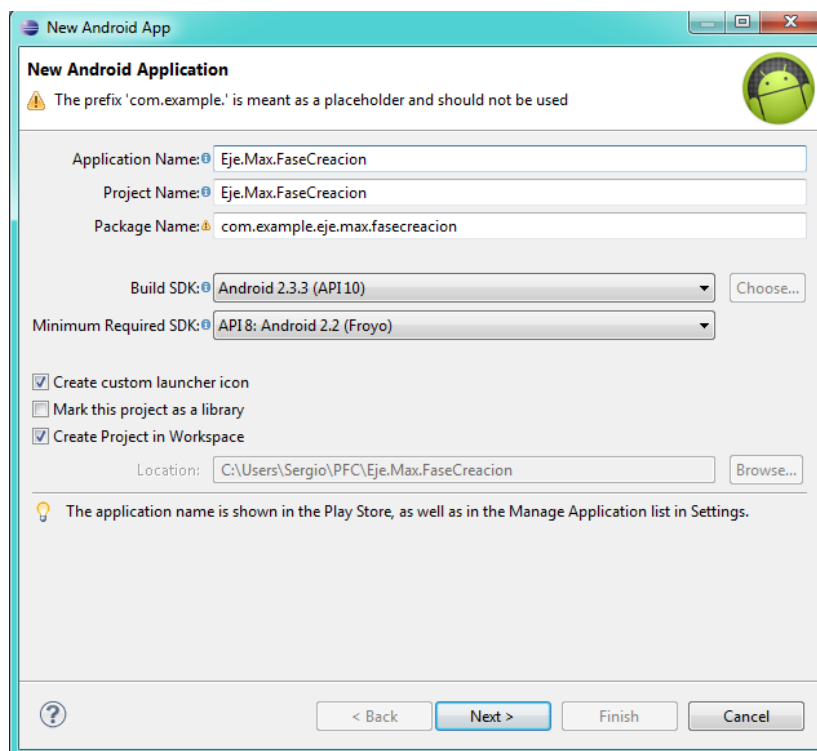


Fig 30 Paso2-Creación Aplicación

En la siguiente pantalla del asistente configuraremos el icono que tendrá nuestra aplicación en el dispositivo. No nos detendremos mucho en este paso ya que no tiene demasiada relevancia por el momento, y se puede modificar en el momento que queramos. Por ahora podemos dejarlo todo por defecto y avanzar al siguiente paso pulsando Next.

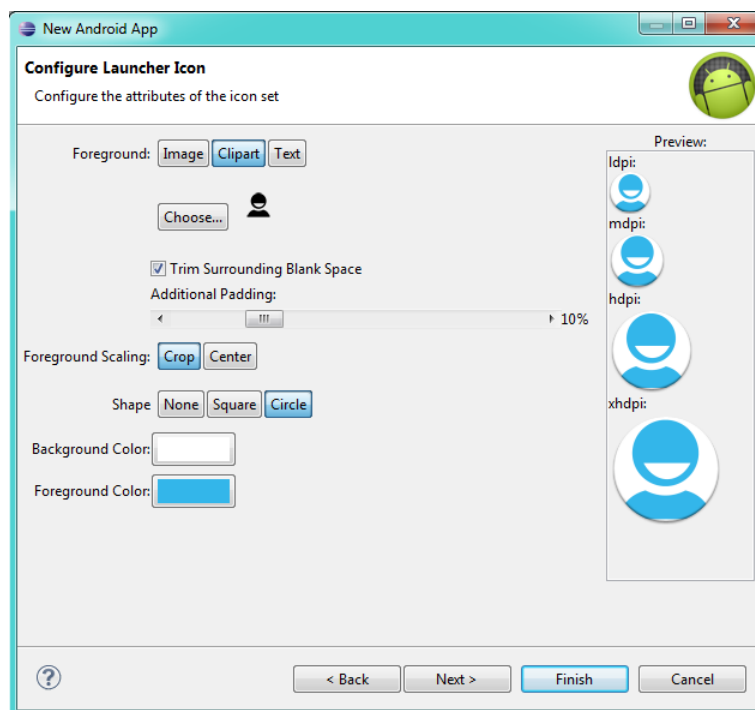


Fig 31 Paso3-Creación Aplicación

En la siguiente pantalla del asistente elegiremos el tipo de actividad principal de la aplicación. Entenderemos por ahora que una actividad es una “pantalla” de la aplicación. En este paso también dejaremos todos los valores por defecto, indicando así que nuestra pantalla principal será del tipo BlankActivity. Avanzamos al siguiente paso pulsando Next.

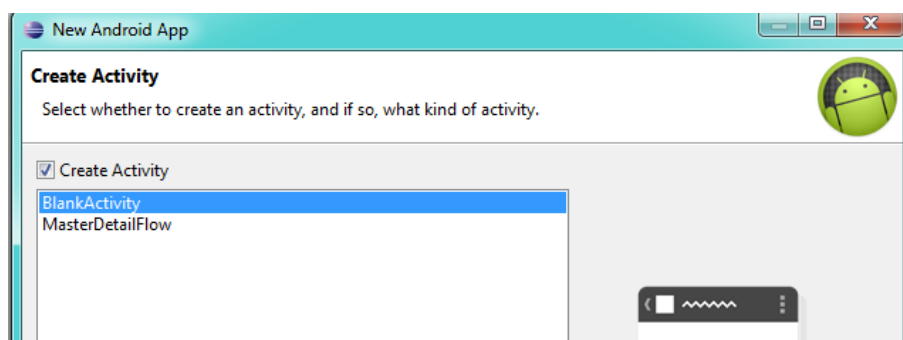


Fig 32 Paso4-Creación Aplicación

Por último, en el último paso del asistente indicaremos los datos de esta actividad principal que acabamos de elegir, indicando el nombre de su clase java asociada y el nombre de su layout xml (la interfaz gráfica asociada a la actividad). Pulsamos Finish y Eclipse creará la aplicación.

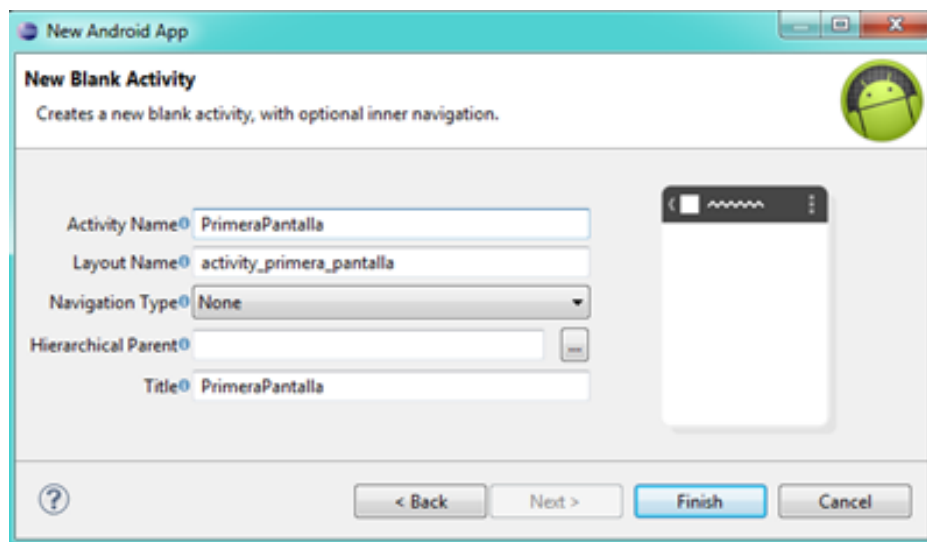


Fig 33 Paso5-Creación Aplicación

Una vez creada la aplicación aparecerán en el lado izquierdo de la pantalla los elementos indispensables de nuestro proyecto. La siguiente figura muestra dichos elementos que a continuación iremos explicando y detallando.

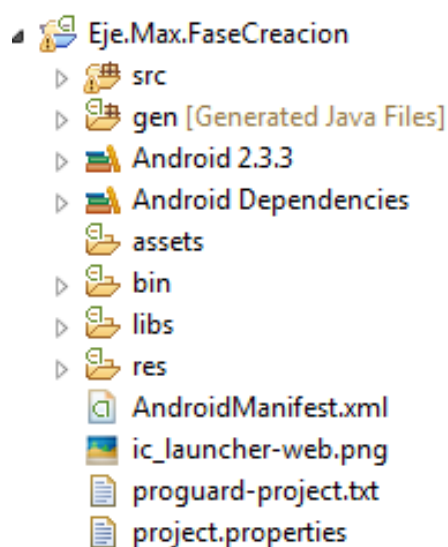


Fig 34 Estructura de una aplicación Android

Carpeta /src/

Esta carpeta contendrá todo el código fuente de la aplicación, código de la interfaz gráfica, clases auxiliares, etc. Inicialmente, Eclipse creará por nosotros el código básico de la Activity (pantalla) principal de la aplicación, que recordemos que en nuestro caso era Primera pantalla, y siempre bajo la estructura del paquete java definido.

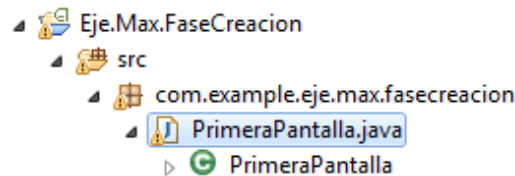


Fig 35 Carpeta src

Carpeta /gen/

Contiene una serie de elementos de código generados automáticamente al compilar el proyecto. Cada vez que generamos nuestro proyecto, la maquinaria de compilación de Android genera por nosotros una serie de ficheros fuente java dirigidos al control de los recursos de la aplicación. Importante: dado que estos ficheros se generan automáticamente tras cada compilación del proyecto es importante que no se modifiquen manualmente bajo ninguna circunstancia.

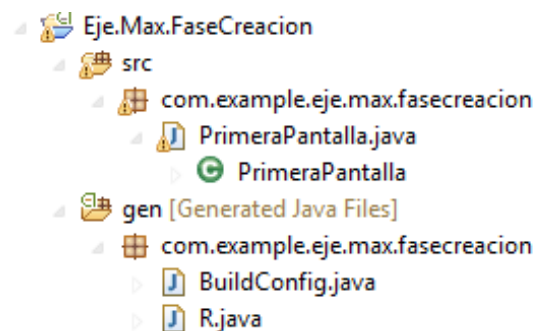


Fig 36 Carpeta gen

Carpeta /res/

Contiene todos los ficheros de recursos necesarios para el proyecto: imágenes, vídeos, cadenas de texto, etc. Los diferentes tipos de recursos se distribuyen entre las siguientes subcarpetas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6 Carpeta res 1

Carpeta	Descripción
/res/drawable	Contiene las imágenes [y otros elementos gráficos] usados en por la aplicación. Para definir diferentes recursos dependiendo de la resolución y densidad de la pantalla del dispositivo se suele dividir en varias subcarpetas: /drawable-ldpi (densidad baja) /drawable-mdpi (densidad media) /drawable-hdpi (densidad alta) /drawable-xhdpi (densidad muy alta)
/res/layout	Contiene los ficheros de definición XML de las diferentes pantallas de la interfaz gráfica. Para definir distintos layouts dependiendo de la orientación del dispositivo se puede dividir en dos subcarpetas:
/res/menu	Contiene la definición XML de los menús de la aplicación.
/res/values/	Contiene otros ficheros XML de recursos de la aplicación, como por ejemplo cadenas de texto (strings.xml), estilos (styles.xml), colores (colors.xml), arrays de valores (arrays.xml), etc.
/res/animator/	Contienen la definición de las animaciones utilizadas por la aplicación.

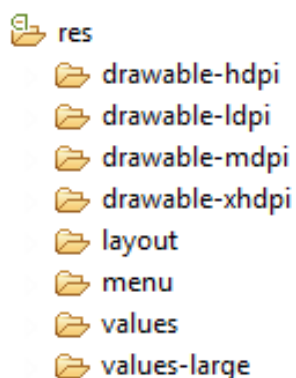


Fig 37 Carpeta res 2

No todas estas carpetas tienen por qué aparecer en cada proyecto Android, tan sólo las que se necesiten.

Carpeta /assets/

Contiene todos los demás ficheros auxiliares necesarios para la aplicación (y que se incluirán en su propio paquete), como por ejemplo ficheros de configuración, de datos, etc.

Carpeta /bin/

Ésta es otra de esas carpetas que en principio no tendremos por qué tocar. Contiene los elementos compilados de la aplicación y otros ficheros auxiliares. Cabe destacar el fichero con extensión “.apk”, que es el ejecutable de la aplicación que se instalará en el dispositivo.

Carpeta /libs/

Contendrá las librerías auxiliares, normalmente en formato “.jar” que utilizemos en nuestra aplicación Android.

Carpeta /Android 2.3.3/

Es la librería de desarrollo de Android (SDK), indica también la versión del SDK en la que estamos desarrollando. Podemos ir desplegando el árbol para ver los paquetes y clases que incluye el SDK. Si añadimos nuevas librerías o paquetes a nuestro proyecto, aparecerán en esta carpeta

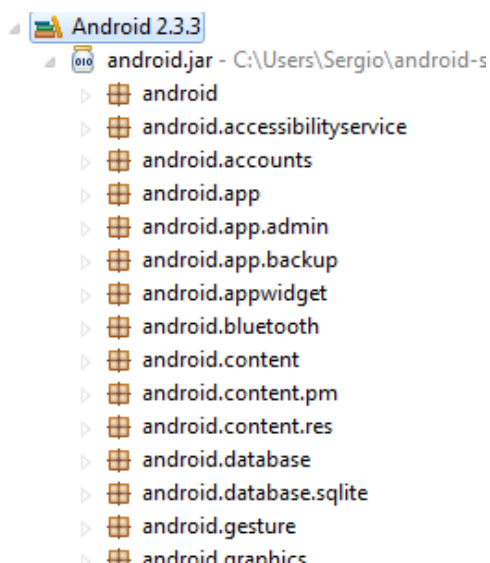


Fig 38 Carpeta Android

Fichero AndroidManifest.xml

Contiene la definición en XML de los aspectos principales de la aplicación, como por ejemplo su identificación (nombre, versión, icono,...), sus componentes (pantallas, mensajes,...), las librerías auxiliares utilizadas, o los permisos necesarios para su ejecución.

4.4.3 Implementación

En la siguiente figura se muestra el organigrama con el que se ha implementado la aplicación. Siguiendo las pautas establecidas en las etapas de diseño, *Eje.Max* consta de tres módulos principales (cargas, corrección límite de fatiga y criterio de análisis). A continuación se expondrá como se ha ido dando forma a *Eje.Max* siguiendo el organigrama.

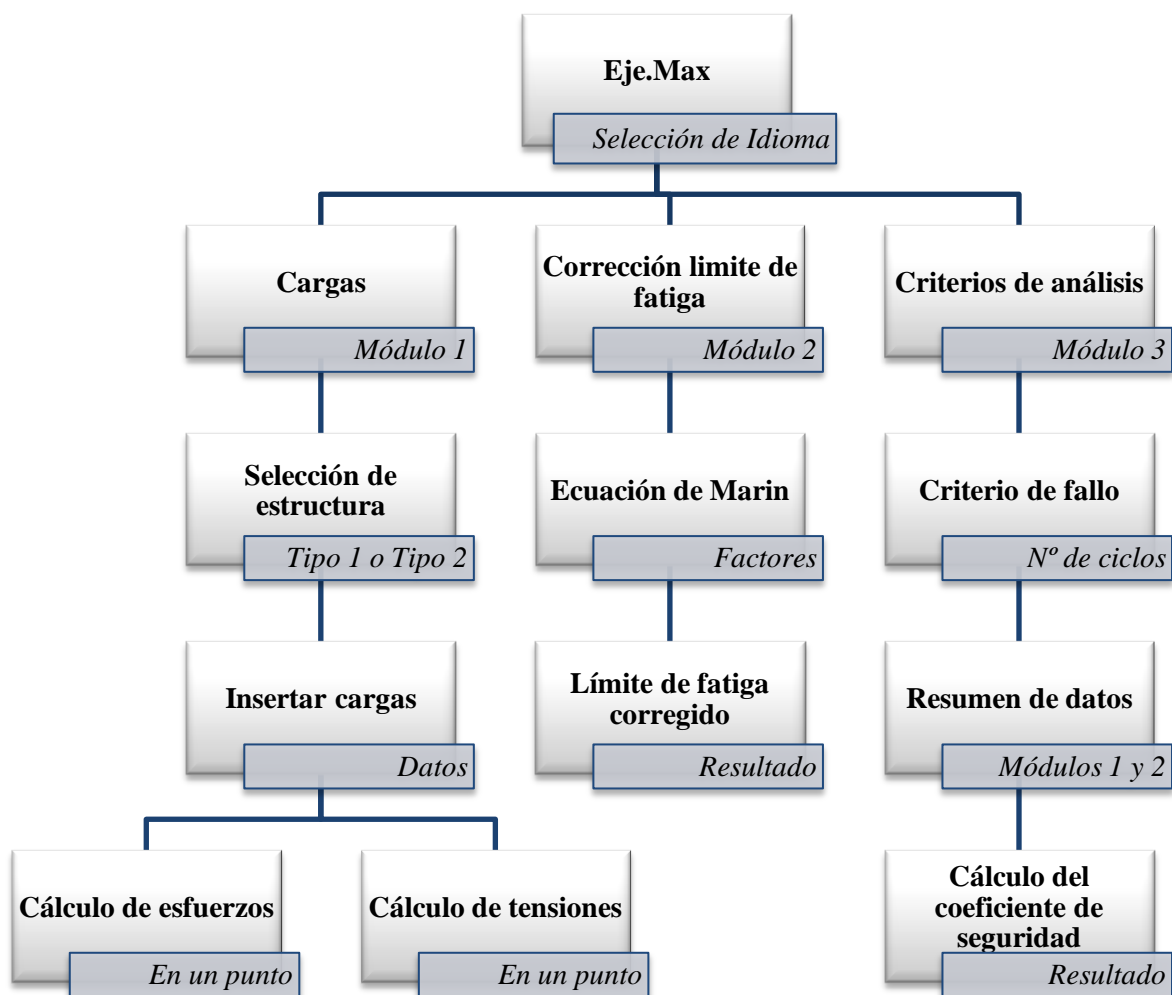


Fig 39 Organigrama de la aplicación

Eje.Max

Eje.Max nace de la necesidad de aportar nuevas herramientas al mundo de la ingeniería en un mercado que se encuentra en completo auge, el de las aplicaciones. Esta herramienta consistirá en una aplicación capaz de hacer un primer acercamiento o aproximación al cálculo del coeficiente de seguridad en ejes.

Una de las bases y principales líneas de trabajo de **Eje.Max** es que sea una aplicación flexible y no finalista. Entendamos por finalista que sea una herramienta cerrada sin posibilidad de hacer cambios o añadir evoluciones, esta información se ampliara en el capítulo de conclusiones.

A su vez al tratarse de un Proyecto Fin de Carrera, se le va a añadir una pequeña portada con una duración de tres segundos que se mostrara a continuación.



Fig 40 Portada de Eje.Max

Con el fin de resaltar lo dicho anteriormente la portada muestra el nombre de la aplicación, el autor y el nombre de la universidad en la que se ha realizado. Los colores empleados han sido los corporativos de la Universidad Carlos III de Madrid.

Una vez finalizado el tiempo de espera este nos redirigirá a la pantalla principal o de inicio.

Siguiendo otra de las etapas de diseño en el diseño de esta herramienta, se llevó a cabo un estudio de cómo se afronta un análisis a fatiga en ejes, con el fin de tener un mayor conocimiento de las principales áreas de estudio.

Los resultados del mismo dictaminaron la estructura de la aplicación y su división en tres módulos. El primer módulo (Cargas) analiza y resuelve el estado de cargas presente de nuestro eje. El segundo módulo (Corrección límite de fatiga) calcula el valor

del límite de fatiga para las condiciones de servicio en las que se va a encontrar. Finalmente el tercer módulo (Criterios de análisis) servirá para calcular el coeficiente de seguridad y evaluar si este es apto para funcionar en las condiciones de servicio introducidas.

Seguidamente iremos desmenuzando cada una de las partes de las que consta **Eje.Max**.

Pantalla de Inicio

La pantalla de inicio o principal es aquella que aparece justo después de la portada y a la que volveremos siempre que queramos cambiar de un módulo a otro. Su función es la de invitar al usuario a usar la aplicación siendo su aspecto sencillo y sobre todo visual. El fondo de pantalla empleado será el mismo para toda la aplicación donde se ha mantenido el color corporativo como base. La siguiente figura muestra el aspecto que tiene la pantalla de inicio.



Consta de cinco botones bien diferenciados.

1. Selección de idioma, bandera con el idioma al que podemos cambiar la aplicación.
2. Funciones de *Eje.Max*. Pequeño módulo introductorio que proporciona una idea de las diferentes funciones de la aplicación.
3. Cargas. Acceso al módulo de cargas
4. Corrección Límite Fatiga. Acceso ha dicho módulo.
5. Criterios de Análisis. Acceso a ese módulo.

Fig 41 Pantalla principal de Eje.Max

Primer Módulo. Cargas

La función del módulo de cargas es analizar el estado de cargas presente en nuestro eje y proporcionar el valor del estado de esfuerzos y tensional producido en un punto. Para ello escogeremos una de las dos estructuras disponibles e introduciremos sus dimensiones y su estado de cargas.

Cargas quedaría definido mediante el siguiente organigrama.

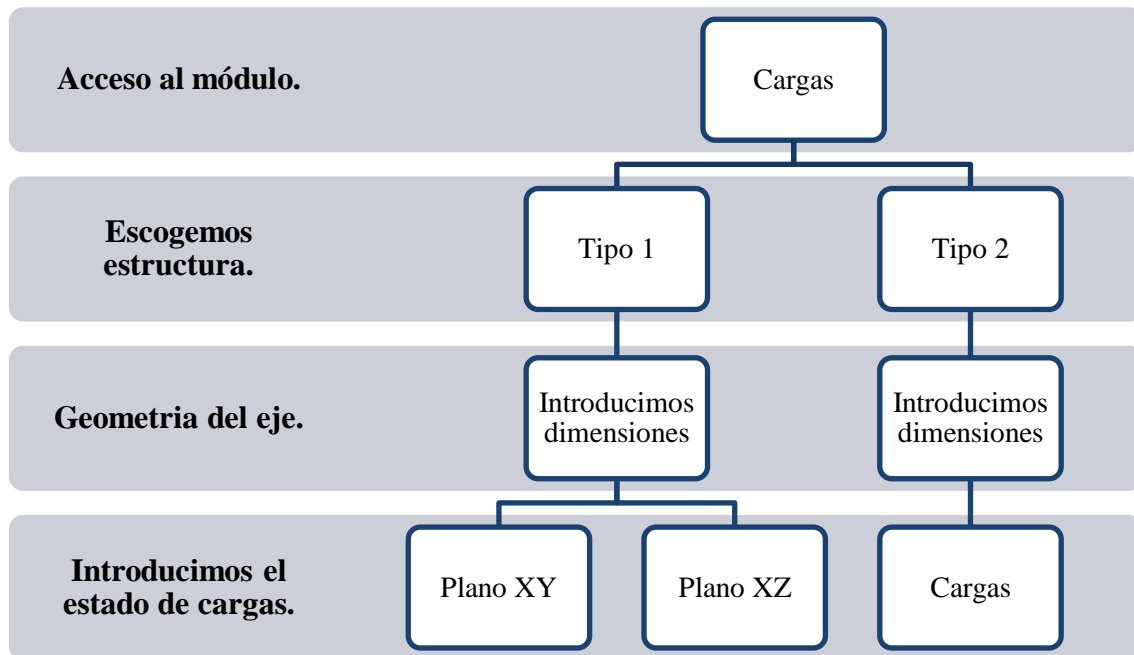


Fig 42 Organigrama del módulo de Cargas

Para realizar el estudio de los estados tensionales y de esfuerzos la aplicación nos redirige a la primera pantalla del módulo Cargas que es la de selección de estructura, esta viene mostrada en la figura 48. Dicha pantalla contiene dos botones de configuración y dos casillas de selección. Las casillas de selección tienen una función importantísima en la aplicación, son los que pasaran los datos almacenados de las tensiones de la estructura seleccionada al último módulo de la aplicación, en el caso en el que ninguna de las dos se seleccione no se podrá hacer el cálculo del coeficiente de seguridad. La función de los botones de configuración es la de redirigirnos al menú de configuración de la estructura (configuración de dimensiones, introducción de cargas y análisis de resultados).

Las figuras 49 y 50 muestran la configuración que se le ha dado a las estructuras tipo 1 y tipo 2 respectivamente. Ambas tienen un estructura de implementación muy similar, empezamos introduciendo las dimensiones de la estructura en las unidades que se nos específica y el punto de análisis, a continuación hacemos uso del botón o botones para introducir las cargas y finalmente calculamos nuestros estados tensionales y de esfuerzos.

Esta aplicación lleva insertado una función que va guardando los datos que introducimos y calculamos siempre que pulsemos en los botones que aparecen en la aplicación y no en los propios del dispositivo.

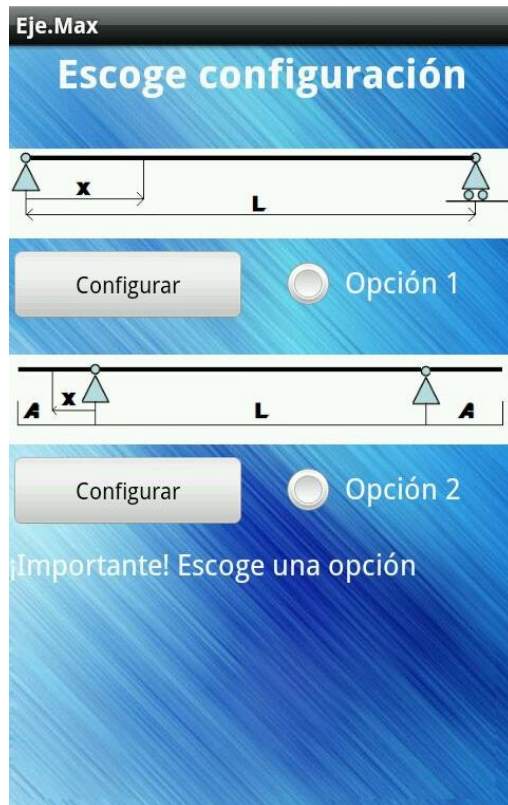


Fig 43 Selección de estructura de Eje.Max

Todas las figuras que se muestran de la aplicación son pantallazos obtenidos de un HTC Desire HD con una pantalla de 4,3 pulgadas o de un Samsung Galaxy S III con pantalla de 4,8 pulgadas. Como se puede apreciar en la figura 46 y 47 hay un pequeño trozo de pantalla que queda oculto. Esto se debe a que la pantalla se puede deslizar hacia abajo para que se pueda seguir visualizando la información. La gran mayoría de los menús están programados para que ocurra esto, ya que los tamaños de los dispositivos móviles inteligentes pueden variar notablemente. Las tabletas al ser de mayor tamaño que los smartphones no presentan problemas.

Móviles con pantallas inferiores a 3,14 pulgadas podrían encontrar problemas a la hora de no poder completar algún menú.



Fig 44 Estructura Tipo 1 de Eje.Max

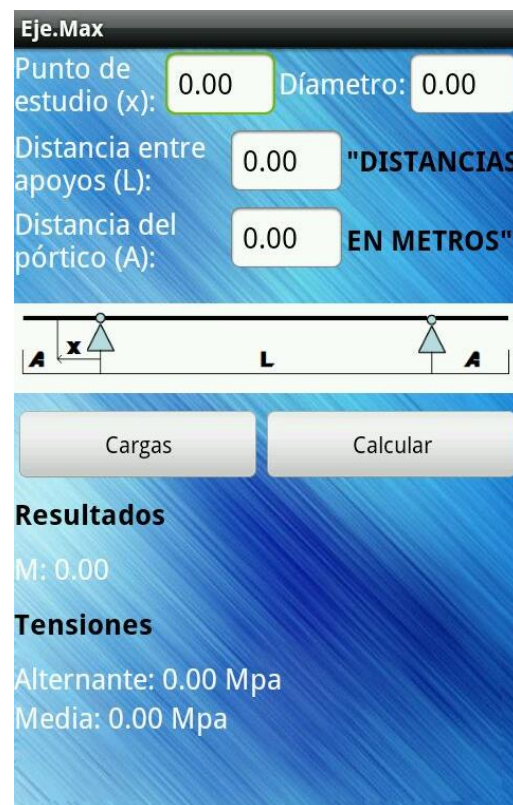


Fig 45 Estructura Tipo 2 de Eje.Max

Implementación de las fórmulas de Cargas

Como se aprecia en la figura 43, 44 y 45 tenemos dos tipos de estructuras diferentes, la tipo 1 y la tipo 2. Para la introducción de cargas analizaremos ambas estructuras por separado.

Tipo 1

Posee dos planos bidimensionales en los que se pueden introducir las cargas, para acceder a ellos tan solo hace falta pulsar en el botón correspondiente y este nos redirigirá a su menú de introducción. Las siguientes figuras muestran su composición.

Eje.Max

Plano XY

Fuerzas en N, Momentos en Nm y Distancias en m



Fuerzas en X

Fuerza:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Fuerzas en Y

Fuerza:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Momentos

Momento:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Fig 46 Plano XY Eje.Max

Eje.Max

Plano XZ

Fuerzas en N, Momentos en Nm y Distancias en m



Fuerzas en Z

Fuerza:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Momentos

Momento:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Momentos Torsores

Momento:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Fig 47 Plano XZ Eje.Max

Solo se nos permitirá un máximo de tres cargas de cada tipo. Para el cálculo de los estados tensionales y de esfuerzo se definirán una serie de variables String y double. La función de las variables String será la de redondear y son las variables que se pasaran de un módulo a otro, mientras que las variables double serán las que sirvan para escribir las ecuaciones en lenguaje java.

La siguiente lista muestra la totalidad de las variables double empleadas para programar el funcionamiento de la estructura tipo 1.

Tabla 7 Lista de doubles usados en tipo 1

double	xestud, disttotal, diaeje, diaeje1
double	x1, x2, x3, y1, y2, y3, m1, m2, m3
double	dx1, dx2, dx3, dy1, dy2, dy3, dm1, dm2, dm3
double	z1, z2, z3, mz1, mz2, mz3, t1, t2, t3
double	dz1, dz2, dz3, dmz1, dmz2, dmz3, dt1, dt2, dt3
double	reac1a, reac1b, flector1, axil1, reac1am, momentof1
double	reac2a, reac2b, flector2, axil2, reac2am, momentof2
double	reac3a, reac3b, flector3, axil3, reac3am, momentof3
double	flectortot, axiltot, flectortot1, torsortot, flectorresul
double	reac1az, reac1bz, flector1z, torsor1, reac1amz, momentof1z
double	reac2az, reac2bz, flector2z, torsor2, reac2amz, <u>momentof2z</u>
double	reac3az, reac3bz, flector3z, torsor3, reac3amz, momentof3z
double	alternante, area, sigmamedia, taomedia, sigmaequiv

Empezaremos analizando los momentos flectores y el esfuerzo axil en el Plano XY. Las fuerzas en el eje y tan solo generaran momentos flectores, al igual que los momentos mientras que las cargas en el eje x solo producirán esfuerzo axil. A continuación se muestran las líneas de código empleadas para el cálculo de dichos esfuerzos.

Dónde:

reac1b: reacción en el apoyo derecho.

reac1a: reacción en el apoyo izquierdo.

y1: valor de la carga 1 en el eje y.

dy1: distancia de la carga y1 al apoyo izquierdo.

disttotal : distancia entre ejes.

xestud: punto de estudio respecto el apoyo izquierdo.

flector1: valor del flector debido a y1.

x1: valor de la carga 1 en el eje x.

dx1: distancia de la carga x1 al apoyo izquierdo.

axil1: valor del esfuerzo axil debido a x1.

reac1am: reacción en el apoyo izquierdo debido al momento m1.

m1: valor del momento 1.

dm1: distancia del momento m1 respecto del apoyo izquierdo.

momentof1: valor del flector debido a m1.

```
// CARGA 1 FLECTORES
reac1b=((y1*dy1)/disttotal);
reac1a=(y1-reac1b);
if(xestud<=dy1){
    flector1=(-1)*(reac1a*xestud);
}else{
    flector1=(-1)*((reac1a*xestud)-(y1*(xestud-dy1)));
}
```

Primero descomponemos las cargas en los apoyos y calculamos la ley de esfuerzos flectores. Dependiendo de la distancia de la carga y del punto de estudio emplearemos una expresión u otra. El signo negativo del flector viene a ser por el criterio de signos empleado.

```
// CARGA 1 AXILES
if(xestud<=dx1){
    axil1=x1;
}else{
    axil1=0;
}
```

De igual manera ocurre con el esfuerzo axil y veremos que con los momentos puntuales estaremos ante la misma situación.

```
// MOMENTO 1
reac1am=m1/disttotal;
if(xestud<=dm1){
    momentof1=reac1am*xestud;
}else{
    momentof1=(reac1am*xestud-m1);
}
```

Para las cargas dos y tres de cada tipo ocurre lo mismo, tan solo se modifica el número de identificación de la variable.

```
// CARGA 2 FLECTORES
reac2b=((y2*dy2)/disttotal);
reac2a=(y2-reac2b);
if(xestud<=dy2){
    flector2=(-1)*(reac2a*xestud);
}else{
    flector2=(-1)*((reac2a*xestud)-(y2*(xestud-dy2)));
}
```

```
// CARGA 2 AXILES
if(xestud<=dx2){
```

```
        axil2=x2;
    }else{
        axil2=0;}

// MOMENTO 2
    reac2am=m2/disttotal;
    if(xestud<=dm2){
        momentof2=reac2am*xestud;
    }else{
        momentof2=(reac2am*xestud-m2);
    }

// CARGA 3 FLECTORES
    reac3b=((y3*dy3)/disttotal);
    reac3a=(y3-reac3b);
    if(xestud<=dy3){
        flector3=(-1)*(reac3a*xestud);
    }else{
        flector3=(-1)*((reac3a*xestud)-(y3*(xestud-dy3)));
    }

// CARGA 3 AXILES
    if(xestud<=dx3){
        axil3=x3;
    }else{
        axil3=0;
    }

// MOMENTO 3
    reac3am=m3/disttotal;
    if(xestud<=dm3){
        momentof3=reac3am*xestud;
    }else{
        momentof3=(reac3am*xestud-m3);
    }
}
```

Respecto al Plano XZ ocurre lo mismo aunque aparece un nuevo esfuerzo que es el momento torsor y desaparece el esfuerzo axil.

Definimos las siguientes variables como:

reac1bz: reacción en el apoyo derecho.

reac1az: reacción en el apoyo izquierdo.

z1: valor de la carga 1 en el eje z.

dz1: distancia de la carga z1 al apoyo izquierdo.

flector1z: valor del flector debido a z1.

dt1: distancia del momento torsor al apoyo izquierdo.

torsor1: esfuerzo torsor debido a t1.

t1: valor del momento torsor 1.

reac1amz: reacción en el apoyo izquierdo debido al momento torsor t1.

mz1: valor del momento 1.

dmz1: distancia del momento mz1 respecto del apoyo izquierdo.

momentof1z: valor del flector debido a mz1.

// CARGA 1 FLECTORES

*reac1bz=((z1*dz1)/disttotal);*

reac1az=(z1-reac1bz);

if(xestud<=dz1){

*flector1z=(reac1az*xestud);*

}else{

*flector1z=((reac1az*xestud)-(z1*(xestud-dz1)));*

}

// CARGA 1 TORSORES

if(xestud<=dt1){

torsor1=t1;

}else{

torsor1=0;

}

// MOMENTO 1

reac1amz=mz1/disttotal;

if(xestud<=dmz1){

*momentof1z=reac1amz*xestud;*

}else{

*momentof1z=(reac1amz*xestud-mz1);*

}

Como sucediese en el Plano XY las cargas dos y tres tan solo se diferencian por el número de identificación.

// CARGA 2 FLECTORES

*reac2bz=((z2*dz2)/disttotal);*

reac2az=(z2-reac2bz);

if(xestud<=dz2){

*flector2z=(reac2az*xestud);*

}else{

*flector2z=((reac2az*xestud)-(z2*(xestud-dz2)));*

}

// CARGA 2 TORSORES

if(xestud<=dt2){

torsor2=t2;

}else{

```
torsor2=0;
}

// MOMENTO 2
reac2amz=mz2/disttotal;
if(xestud<=dmz2){
    momentof2z=reac2amz*xestud;
}else{
    momentof2z=(reac2amz*xestud-mz2);
}

// CARGA 3 FLECTORES
reac3bz=((z3*dz3)/disttotal);
reac3az=(z3-reac3bz);
if(xestud<=dz3){
    flector3z=(reac3az*xestud);
}else{
    flector3z=((reac3az*xestud)-(z3*(xestud-dz3)));
}

// CARGA 3 TORSORES
if(xestud<=dt3){
    torsor3=t3;
}else{
    torsor3=0;
}

// MOMENTO 3
reac3amz=mz3/disttotal;
if(xestud<=dmz3){
    momentof3z=reac3amz*xestud;
}else{
    momentof3z=(reac3amz*xestud-mz3);
}
```

Una vez calculados todos los esfuerzos que generan las cargas los sumamos y hacemos el valor absoluto de cada uno de ellos, ya que solo nos interesa su magnitud. Las siguientes líneas de código muestran este paso. Aparecen nuevas variables double {flectortot, flectortot1, axiltot, torsortot y flectorresul}.

```
flectortot=flector1+flector2+flector3+momentof1+momentof2+momentof3;
flectortot1=flector1z+flector2z+flector3z+momentof1z+momentof2z+momentof3z;
axiltot=axil1+axil2+axil3;
torsortot=torsor1+torsor2+torsor3;

flectortot=Math.abs(flectortot);
flectortot1=Math.abs(flectortot1);
```

```
axiltot=Math.abs(axiltot);  
torsortot=Math.abs(torsortot);
```

Como tenemos dos momentos flectores contenidos en diferentes planos haremos su módulo para conocer la magnitud del momentos flector resultante.

$$flectorresul = \sqrt{flectortot^2 + flectortot^2}$$

Ecuación 30 Módulo momento flector

En lenguaje java se ha definido la ecuación 30 de la siguiente manera.

```
flectortot=Math.pow(flectortot, 2);  
flectortot1=Math.pow(flectortot1, 2);  
flectorresul=flectortot+flectortot1;  
flectorresul=Math.sqrt(flectorresul);
```

Una vez obtenidos todos los esfuerzos pasamos al cálculo de la tensión alternante y media.

Para el cálculo de la tensión alternante emplearemos la siguiente expresión:

$$\sigma_a = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

Ecuación 31 Tensión alternante

Las líneas de código correspondientes a la programación de la tensión alternante son:

```
diaeje1=diaeje;  
diaeje1=Math.pow(diaeje, 3);  
alternante=((32*flectorresul)/((Math.PI)*diaeje1));
```

Para el cálculo de la tensión media emplearemos la siguiente expresión:

$$\sigma_m = \sqrt{\left(\frac{N}{A}\right)^2 + 3 \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

Ecuación 32 Tensión media

Las líneas de código correspondientes a la programación de la tensión media son:

```
area=((Math.PI)*(Math.pow(diaeje, 2))/4);  
sigmamedia= axiltot/area;  
taomedia=((16*torsortot)/((Math.PI)*diaje1));  
sigmamedia=Math.pow(sigmamedia, 2);  
taomedia=Math.pow(taomedia, 2);  
sigmaequiv=sigmamedia+3*taomedia;  
sigmaequiv=Math.sqrt(sigmaequiv);
```

Finalmente dividiremos la tensión alternante y la media por 10^6 para obtener el resultado en mega pascales.

```
alternante=alternante/(Math.pow(10, 6));  
sigmaequiv=sigmaequiv/(Math.pow(10, 6));
```

Una vez calculados todos los esfuerzos y tensiones, procederemos a programar las funciones de redondeo. Estas tienen una relativa importancia ya que sino a la hora de usar la aplicación cada vez q se nos proporciona un resultado por pantalla este tendrá tantos decimales como quepan en el tamaño destinado a la respuesta.

En la siguiente lista aparecen las variables String, empleadas para el redondeo a dos posiciones decimales y guardado de los resultados obtenidos.

Tabla 8 Lista de Strings usadas en tipo 1

String	sasa, sase, sasi, saso, sas, sesa, sese
String	PuntoAnálisis, LongitudEje, DiametroEje
String	sx1, sx2, sx3, sy1, sy2, sy3, sm1, sm2, sm3
String	sdx1, sdx2, sdx3, sdy1, sdy2, sdy3, sdm1, sdm2, sdm3
String	sz1, sz2, sz3, smz1, smz2, smz3, st1, st2, st3
String	sdz1, sdz2, sdz3, sdmz1, sdmz2, sdmz3, sdt1, sdt2, sdt3

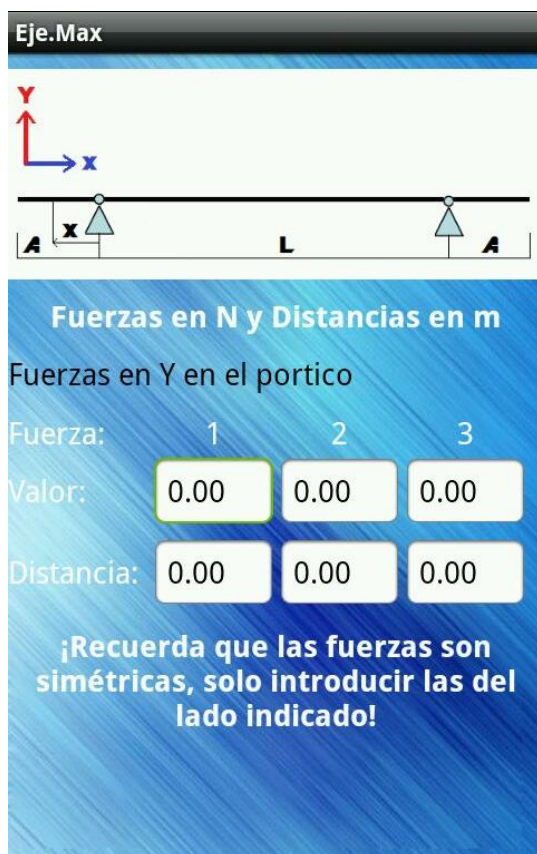
La siguiente lista especifica que String corresponde a cada double.

sasi es flectortot.
saso flectortot1.
sesa axiltot.
sese es torsortot.
sasa es alternante.
sase es sigmaequiv.
PuntoAnálisis es xestud.
LongitudEje es disttotal.
DiametroEje es diaeje.

Respecto al resto de Strings tan solo quitándole la primera “s” identificamos su double.

Tipo 2

La estructura tipo 2 tiene una implementación muy similar a la del tipo 1, como se puede apreciar comparando las figuras 44 y 45. El acceso a la introducción de las cargas se hace pulsando en el botón cargas de la figura 45 y este nos redirigirá a la pantalla de la figura 48. En este caso tan solo se podrá introducir cargas de tipo vertical por lo que tan solo tendremos un único esfuerzo, el momento flector, y como se explicó en el capítulo 2 también habrá un único tipo de tensión, tensión alternante. De igual manera que en la estructura tipo 1 se definirán una serie de Strings y doubles que desempeñaran las mismas funciones.



Eje.Max

Y
X

A x L A

Fuerzas en N y Distancias en m

Fuerzas en Y en el portico

Fuerza:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

¡Recuerda que las fuerzas son simétricas, solo introducir las del lado indicado!

La estructura tipo 2 es tanto simétrica de cargas como de forma. Tan solo se podrán introducir tres cargas en el lado en el que está señalado en la figura de la pantalla.

Una vez introducida una carga la aplicación supondrá que existe otra carga idéntica en el otro pórtico a la misma distancia del apoyo, para mantener siempre la simetría.

La estructura representada en este caso es la forma típica de un eje ferroviario en servicio. Las ruedas vienen representadas por los apoyos y el lugar donde descansaría todo el peso del vagón son los pórticos, es decir punto de aplicación de las fuerzas.

Fig 48 Cargas estructura tipo 2 de Eje.Max

En la siguiente lista aparecen las variables double empleadas en la implementación de la estructura tipo 2.

Tabla 9 Lista de doubles usadas en tipo 2

double	xestud1, disttotal1, diaeje1, distporti
double	x1itc, x2itc, x3itc, dx1itc, dx2itc, dx3itc
double	reaca1tc, reaca2tc, reaca3tc, momenttc, alternantetc, dcubo

Dónde:

xestud1: el punto de estudio.

x1itc: valor de la carga 1.

dx1itc: distancia de la carga 1 respecto del apoyo izquierdo hacia el pórtico.

reaca1tc: momento flector generado por la carga 1.

Las siguientes líneas de código representan como se ha programado el cálculo del momento flector.

```
//CARGA 1
if(xestud1<dx1itc){
    reaca1tc=(-1)*x1itc*(dx1itc-xestud1);
}else{
    reaca1tc=0;
}
```

Las cargas dos y tres se programan de igual forma, lo único que varía es el número de identificación de las variables

```
//CARGA 2
if(xestud1<dx2itc){
    reaca2tc=(-1)*x2itc*(dx2itc-xestud1);
}else{
    reaca2tc=0;
}
```

```
//CARGA 3
if(xestud1<dx3itc){
    reaca3tc=(-1)*x3itc*(dx3itc-xestud1);
}else{
    reaca3tc=0;
}
```

Una vez calculado los momentos flectores los sumamos y hacemos su valor absoluto para poder usar la ecuación 31 y hallar el valor de la tensión alternante.

```
momenttc=reaca1tc+reaca2tc+reaca3tc;
momenttc=Math.abs(momenttc);

dcubo=Math.pow(diaeje1, 3);
alternantetc=((32*momenttc)/((Math.PI)*dcubo));
```

De igual manera como ocurriese en la estructura tipo 1 y tras el cálculo de los esfuerzos y las tensiones procederemos a programar la función de redondeo y a identificar cada variable String con su double correspondiente. El redondeo se hará a dos posiciones decimales. En la siguiente lista figuran las variables String empleadas.

Tabla 10 Lista de Strings usadas en tipo 2

String	PuntoAnalysis1, LongitudEje1, DiametroEje1, <u>DistPorti</u>
String	sx1itc, sx2itc, sx3itc, sdx1itc, sdx2itc, sdx3itc
String	smomenttc, salternantetc

La siguiente lista especifica que String corresponde a cada double.

PuntoAnalysis1 es xestud1.

LongitudEje1 es disttotal1.

DiametroEje1 es diaeje1.

DistPorti es distporti.

Respecto al resto de Strings tan solo quitándole la primera s identificamos su double.

Segundo Módulo. Corrección Límite de Fatiga

Este módulo analizará las distintas variables del sistema para calcular el límite de fatiga para vida infinita. Para ello emplearemos la Ecuación de Marin, que consta de una serie de factores que cuantifican el efecto de estos sobre el límite de fatiga. Para ello comenzaremos accediendo al segundo módulo desde la pantalla de inicio pulsando en el botón Corrección Límite de Fatiga. La siguiente figura muestra la pantalla principal del segundo módulo.

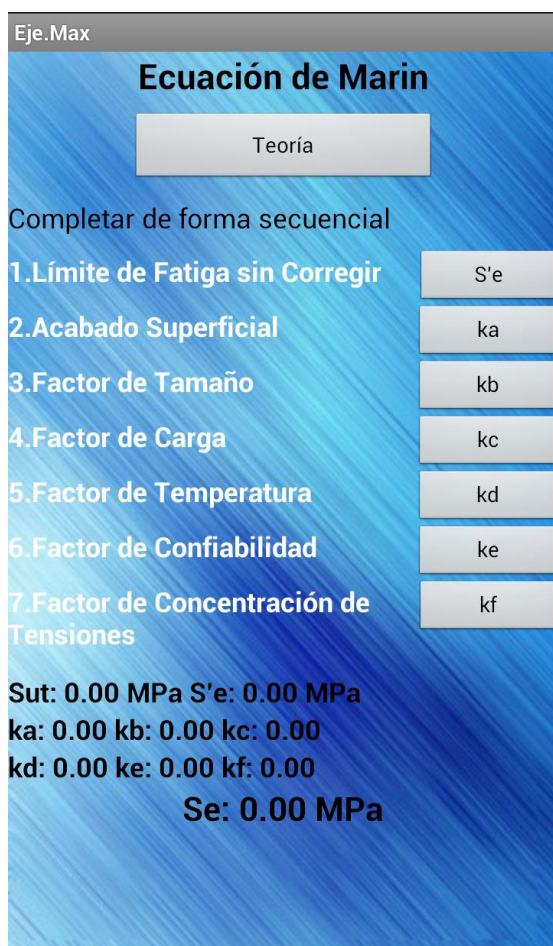


Fig 49 Ecuación de Marin de Eje.Max

La pantalla está dividida en dos zonas bien diferenciadas. Una primera zona con botones de acceso a cada uno de los distintos factores que componen la ecuación de Marin y una segunda zona que muestra los resultados a medida que los vamos completando.

De ahora en adelante la aplicación contará con una serie de módulos explicativos a los que se podrá acceder pulsando el botón de teoría.

Corrección del Límite de Fatiga quedaría definido mediante el siguiente organigrama que se muestra en la figura 50.

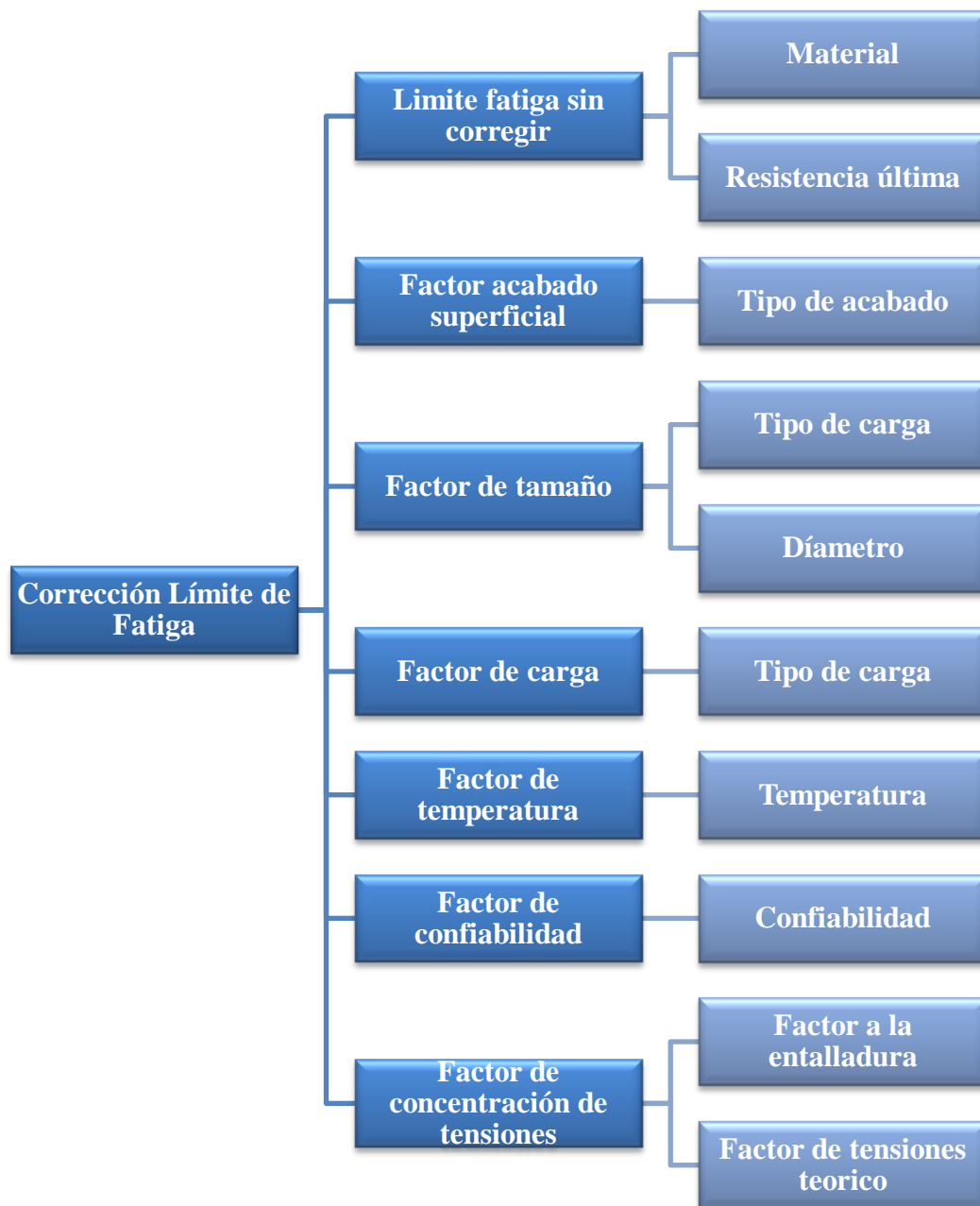


Fig 50 Organigrama del módulo de Corrección Límite de Fatiga

La forma de funcionamiento de este módulo es muy simple, a través de los distintos submódulos de los que consta se van obteniendo los diferentes resultados de cada factor y mediante la función de autoguardado que tiene la aplicación todos los resultados se importan a la pantalla de la figura 49 y se obtiene el límite de fatiga corregido para vida infinita.

Implementación de las fórmulas de Corrección Límite de Fatiga

Seguiremos procediendo de la misma forma respecto a la declaración y uso de las variables String y double. En la siguiente lista figuran los Strings y doubles usados en todo el segundo módulo.

Tabla 11 Lista de Strings y doubles usadas en Ecuación de Marin

double	se, sut, sesinc, ka, kb, kd, kc, ke, kf
String	ssut, ssesinc, ska, skb, skc, skd, ske, skf, sse

Para el cálculo del límite de fatiga corregido haremos uso de la ecuación 11 y quedaría definido de la siguiente manera.

$$se = sesinc * ka * kb * kc * kd * ke * kf$$

Dónde:

se: límite de fatiga corregido

sesinc: límite de fatiga sin corregir

ka: factor de acabado superficial

kb: factor de tamaño

kc: factor de tipo de carga

kd: factor de temperatura

ke: factor de confiabilidad

kf: factor de concentración de tensiones

Sus Strings equivalentes se localizan añadiendo una “s” al principio de cada variable.

Siempre que accedamos a la pantalla de la figura 49 la aplicación buscara en la memoria el valor de cada uno de los factores y dará el valor en pantalla de la operación mostrada.

Para el cálculo de cada uno de los factores pulsaremos en el botón correspondiente de la figura 49. A continuación se mostraran cada una de las pantallas de las que está compuesta cada uno de los factores.

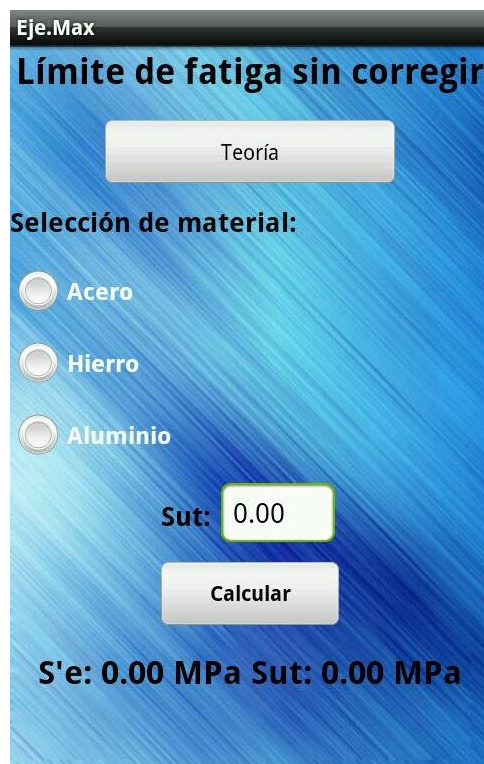


Fig 51 Límite de fatiga sin corregir de Eje.Max

En la pantalla de límite de fatiga sin corregir quedara definido el material que usaremos al igual que la resistencia última del mismo.

Si hacemos uso del botón teoría se nos mostrara los recursos teóricos empleados para hacer el cálculo del límite de fatiga sin corregir.

Estos mismos han quedado definidos en la tabla 3.

Funcionamiento:

1. Seleccionamos el material
2. Introducimos la resistencia última del mismo
3. Pulsamos el botón calcular
4. Comprobamos el resultado

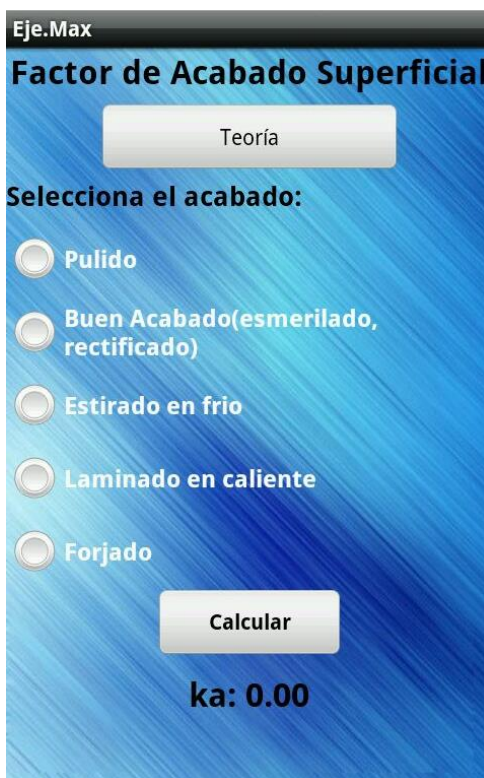


Fig 52 Factor de Acabado Superficial de Eje.Max

Dependiendo del tipo de acabado de nuestra pieza el límite de fatiga corregido tendrá un valor u otro.

Esta pantalla viene a recoger dicho efecto, en el apartado de teoría encontraremos los recursos teóricos para su cálculo presentes en la tabla 1.

Funcionamiento:

1. Seleccionamos el acabado
2. Pulsamos el botón Calcular
3. Comprobamos el resultado



Fig 53 Factor de Tamaño de Eje.Max

Las ecuaciones 13 y 14 fundamentan los resultados que se pueden obtener de la pantalla de factor de tamaño.

Como viene siendo habitual el botón de teoría nos proporciona una explicación de este factor

Funcionamiento:

1. Seleccionamos el tipo de carga
2. Si es necesario modificaremos el diámetro, este vendrá dado por el que hemos introducido en el módulo de cargas
3. Pulsamos el botón Calcular
4. Comprobamos el resultado



Fig 54 Factor de Tipo de Carga de Eje.Max

Los ensayos de viga rotatoria se realizan bajo cargas de flexión por eso debemos analizar el efecto que tendrían otras cargas.

Funcionamiento:

1. Seleccionamos el tipo de carga
2. Pulsamos el botón Calcular
3. Comprobamos el resultado



Fig 55 Factor de Temperatura de Eje.Max

El factor de temperatura presenta diversos enfoques dependiendo del autor, la ecuación 19 recoge el criterio empleado por esta aplicación.

De igual manera cualquier usuario podrá encontrar esa información pulsando en el botón de teoría.

Funcionamiento:

1. Introducimos la temperatura de funcionamiento
2. Pulsamos el botón Calcular
3. Comprobamos el resultado



Fig 56 Factor de Confiabilidad de Eje.Max

La pantalla del factor de confiabilidad no diferencia del resto de factores en cuanto a su simpleza.

Está programada siguiendo los datos teóricos de la figura 22.

Funcionamiento:

1. Pulsamos el botón con la confiabilidad deseada
2. Comprobamos el resultado

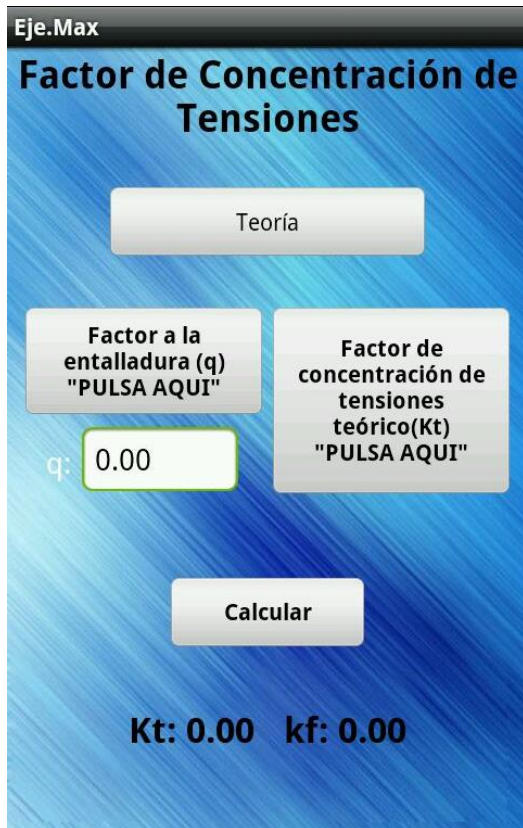


Fig 57 Factor de Concentración de Tensiones de Eje.Max

La pantalla del factor de concentración de tensiones funciona de forma diferente al de resto de pantallas, ya que esta contiene una serie de submenús del que vamos a obtener datos tabulados para calcular dicho factor.

Bajo el botón de teoría se resumen todos los fundamentos teóricos de este factor que podemos encontrar en las ecuaciones 20 y 21, y en las figuras 20, 21 y 22.

Para conocer el valor de k_f comenzaremos obteniendo el factor a la entalladura que por defecto vale cero para ello pulsamos en el botón con su nombre.

Este nos redirigirá a la primera de las 4 pantallas interactivas con gráficas (figura 58). Si pulsamos dentro de la gráfica aparecerán dos líneas rojas en el punto seleccionado

A continuación obtendremos el factor de concentración de tensiones teórico. Pulsamos en el botón con su nombre que nos redirigirá a un nuevo menú (figura 59).

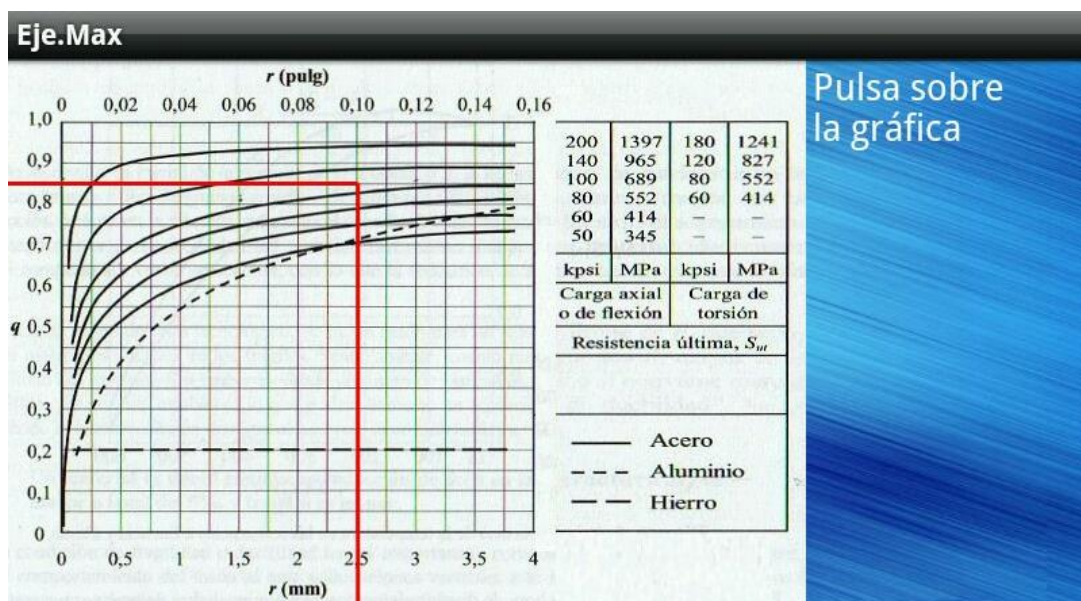


Fig 58 Factor a la Entalladura de Eje.Max



Fig 59 Factor de Concentración de Tensiones Teórico

Como se aprecia en la pantalla, hay una instrucción muy clara de los pasos a seguir. Pulsaremos en la imagen que se corresponda a nuestro caso y este nos redirigirá a una de las tres graficas posibles (figura 60, 61 y 62).

En el caso de tener más de una fuerza hallaremos los distintos valores para K_t y finalmente seleccionaremos la que consideremos oportuna para nuestro caso. Normalmente la más limitante.

La aplicación tan solo guardara el factor de concentración de tensiones teórico seleccionado.

Para el caso de fuerza axial emplearemos la siguiente gráfica.

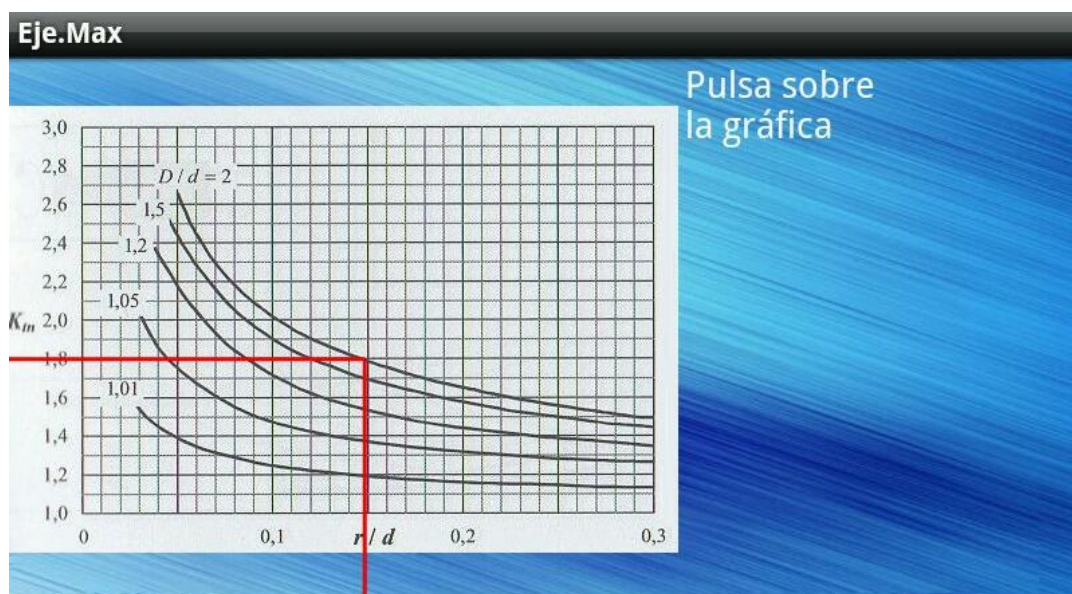


Fig 60 Grafica 1. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max

Para el caso de momentos emplearemos la siguiente gráfica.

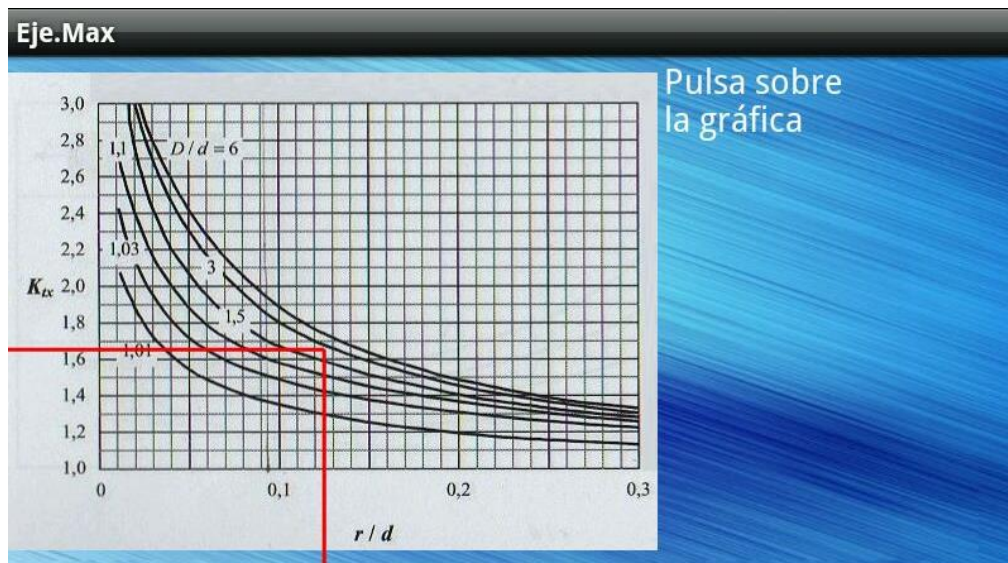


Fig 61 Gráfica 2. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max

Para el caso de momentos torsores emplearemos la siguiente gráfica.

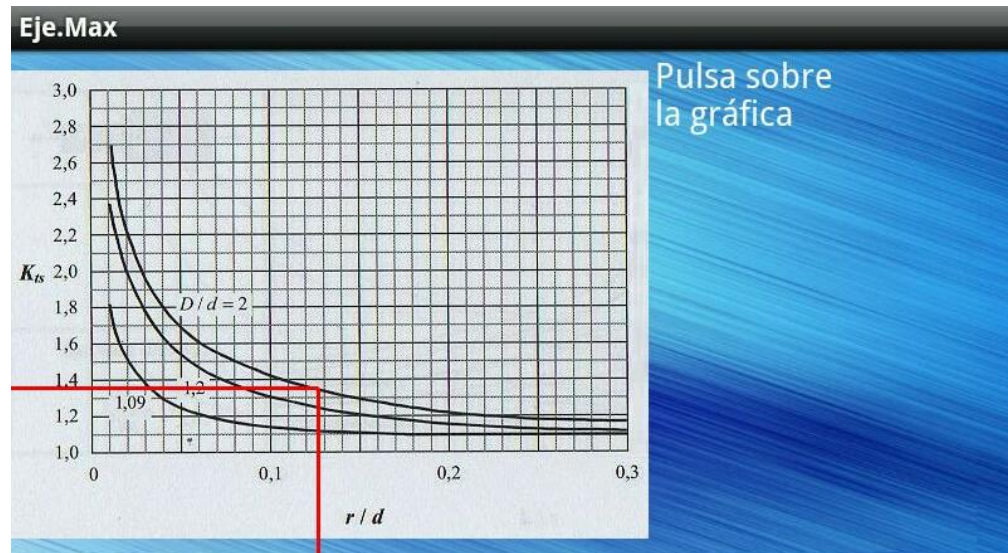


Fig 62 Gráfica 3. Concentración de Tensiones Teórico de Eje.Max

Tercer Módulo. Criterio de Análisis

El tercer y último módulo de la aplicación tiene como finalidad la de calcular el coeficiente de seguridad según los datos aportados en el primer y segundo módulo. Dicho módulo consta de dos pantallas una principal y otra que deriva de esta donde se introducirán los últimos datos necesarios para el cálculo del coeficiente de seguridad.



Fig 63 Criterios de Análisis de Eje.Max



Fig 64 Selección de Criterio de Eje.Max

Una vez hemos accedido a la pantalla de la figura 63 pulsaremos en el botón de criterios de fallo por fatiga que nos redirigirá a la pantalla de la figura 64. Como ha venido ocurriendo el botón teoría muestra los fundamentos de cada uno de los criterios mostrados y que se muestran en las ecuaciones 27, 28 y 29. Seleccionaremos el criterio de análisis que mejor se adecue a nuestros intereses e introduciremos el número de ciclos que debe aguantar nuestro eje. Como se puede observar el límite a fluencia S_y se encuentra bloqueado, este se liberará en el caso que seleccionemos la opción de Soderberg. De igual manera ocurrirá si seleccionamos la opción de vida infinita, el número de ciclos quedará fijo y bloqueado siendo su valor de un millón.

A continuación regresaremos a la pantalla anterior pulsando el botón de atrás de nuestro dispositivo móvil.

En el figurara un resumen de toda la información introducida y que usaremos para comprobar que se corresponde con el análisis que queremos llevar acabo.

La lista incluye: la estructura seleccionada y las tensiones derivadas del estado de cargas presente, el material escogido, su límite de rotura, su límite de fatiga corregido para el número de ciclos deseados, el número de ciclos y el criterio de cálculo deseado.

El funcionamiento del tercer módulo quedaría definido por el siguiente organigrama.

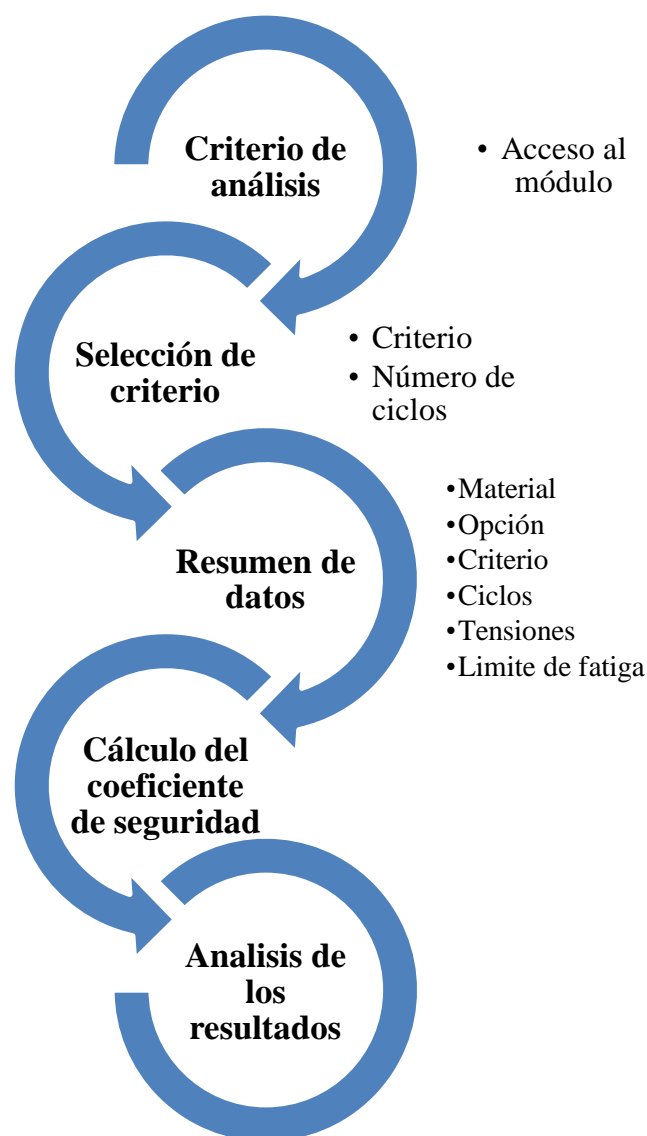


Fig 65 Organigrama de diseño del tercer módulo de Eje.Max

Pantallas de Teoría de *Eje.Max*

En las siguientes figuras se mostraran el resto de pantallas de las que está compuesta la aplicación. No se va a realizar un estudio de las mismas ya que su función ha quedado definida anteriormente. Son todas las pantallas de teoría de las que consta *Eje.Max* más la de funciones de *Eje.Max*.

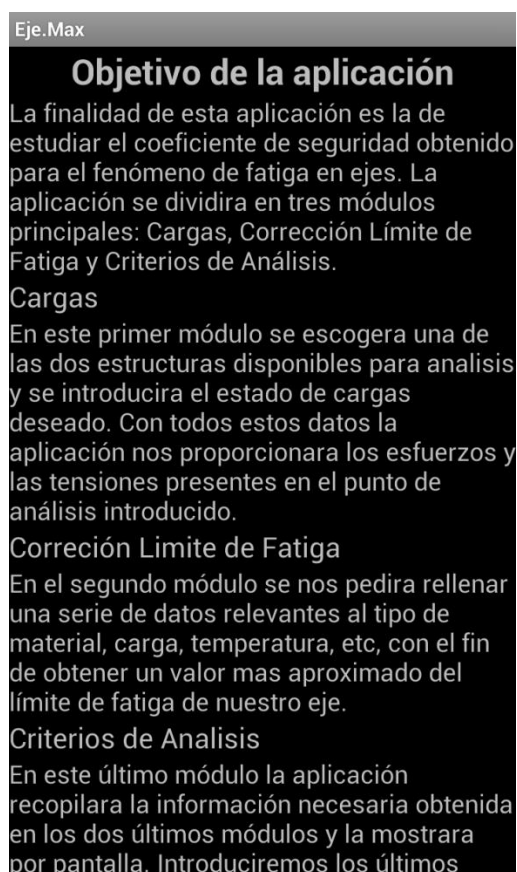


Fig 66 Funciones de Eje.Max

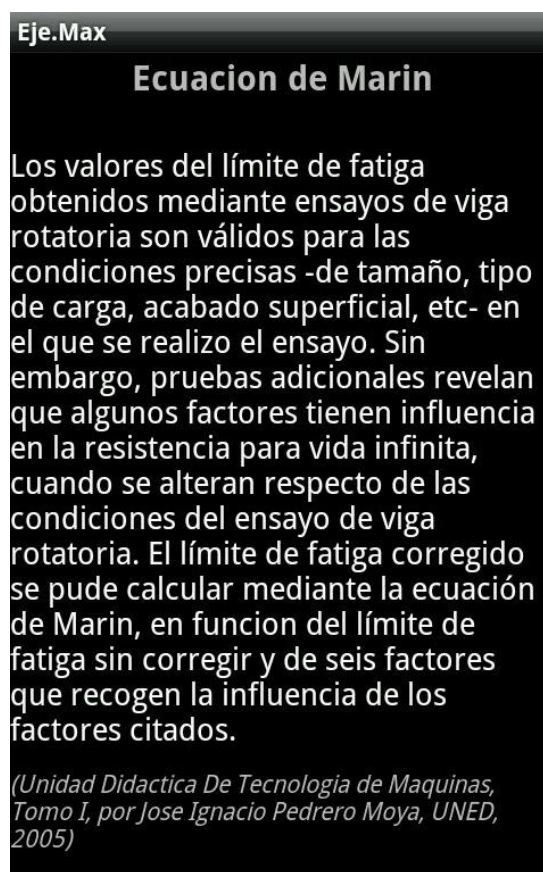


Fig 67 Teoría Ecuación de Marin

Eje.Max

Limite de fatiga sin corregir

Si no se conocen datos experimentales, el limite de resistencia a la fatiga $S'e$ como la resistencia a la fatiga S_f se pueden aproximar a los siguientes valores.

Acero:

$$S'e = 0.5 S_{ut} \text{ MPa (} S_{ut} < 1400 \text{ MPa)}$$

$$S'e = 700 \text{ MPa (} S_{ut} > 1400 \text{ MPa)}$$

Hierro:

$$S'e = 0.4 S_{ut} \text{ MPa (} S_{ut} < 400 \text{ MPa)}$$

$$S'e = 160 \text{ MPa (} S_{ut} > 400 \text{ MPa)}$$

Aluminio:

$$S_f = 0.4 S_{ut} \text{ MPa (} S_{ut} < 330 \text{ MPa)}$$

$$S_f = 130 \text{ MPa (} S_{ut} > 330 \text{ MPa)}$$

De Diseño de Maquinas, Robert L. Norton, Prentice Hall, 1999

Fig 68 Teoría límite de fatiga sin corregir

Eje.Max

Factor de Acabado Superficial

Cuanto peor sea el acabado superficial de una pieza mayor serán las concentraciones de tensiones que aparecen en esta, resultando en un descenso en el límite de fatiga. El factor de acabado superficial se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

donde a y b son coeficientes en función del acabado superficial.

Acabado Superficial	a	b
Pulido	1	0
Buen acabado	1,58	-0.085
Estirado en frío	4,51	-0.265
Laminado en caliente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Fig 69 Teoría factor de acabado superficial

Eje.Max

Factor de Tamaño

Mayores diámetros pueden reducir el límite de fatiga. Para los casos de carga axial y de flexión y torsión el factor de tamaño se puede evaluar mediante las siguientes expresiones:

Carga axial

$$k_b = 1$$

Flexión y torsión

$$k_b = \begin{cases} 1,24 d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51 d^{-0,157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

De Diseño de Maquinas, Robert L. Norton, Prentice Hall, 1999
Fuente: Charles R. Mischke, "Prediction of

Fig 70 Teoría factor de tamaño

Eje.Max

Factor de Carga

En el caso de carga axial, cuando la resistencia última del material es igual o inferior a 1520 MPa, el factor de carga vale:

$$k_c = 0,923$$

En el resto de casos:

$$k_c = 1$$

Unidad Didáctica De Tecnología de Maquinas, Tomo I, por Jose Ignacio Pedrero Moya, UNED, 2005

Fig 71 Teoría factor de carga

Eje.Max

Factor de temperatura

A temperaturas de trabajo muy elevadas el comportamiento del material cambia generando un descenso en el límite de fatiga.

$$k_d = \begin{cases} 1 & T \leq 450^\circ\text{C} \\ 1 - 0,0058(T - 450) & 450^\circ\text{C} \leq T \leq 550^\circ\text{C} \end{cases}$$

Fuente: Shigley y Mischke, *Mechanical Engineering Design*, 5a ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1989

Fig 72 Teoría factor de temperatura

Eje.Max

Factor de Confiabilidad

Hay considerable dispersion en multiples ensayos de un mismo material bajo las mismas condiciones de prueba. Haugen y Wirsching informan que las desviaciones estándar de la resistencia a la fatiga de los aceros rara vez exceden el 8% sobre sus valores medios.

De *Diseño de Maquinas*, Robert L. Norton, Prentice Hall, 1999

La siguiente tabla muestra los factores de confiabilidad para una desviación estándar supuesta del 8%.

Reliability, %	Reliability Factor k_s
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fig 73 Teoría factor de confiabilidad

Eje.Max

Factor de Concentración de Tensiones

Un gran número de elementos mecánicos tienen agujeros, ranuras, chavetas, muescas u otras clases de discontinuidades que alteranla distribución del esfuerzo. Definiremos el factor de concentracion de esfuerzos de la siguiente manera:

$$k_f = \frac{1}{K_f}$$

Donde:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

q: factor de sensibilidad a las ranuras
Kt: factor de concentración teórico

Fig 74 Teoría factor de concentración de esfuerzos

Eje.Max

Criterios de Fallo por Fatiga

Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Soderberg

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Gerber

$$\frac{n\sigma_a}{S_f} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

Fig 75 Teoría criterios de fallo por fatiga

4.4.4 Instalación

Para poder instalar *Eje.Max* en nuestro dispositivo móvil o tableta este debe contar con una versión de Android 2.2 igual o superior. Para ello abriremos el archivo *Eje.Max.apk* desde nuestro terminal y seguiremos los pasos que se nos muestran en la pantalla o bien cuando se encuentre disponible lo descargaremos directamente del Play Store de Google.

Una vez la aplicación está instalada iremos al menú de todas las aplicaciones y la seleccionamos pulsando encima de su icono.

(dependiendo de la marca del Smartphone o tableta esto puede llamarse de distinta forma)

En la siguiente figura se ha resaltado el aspecto que tiene *Eje.Max* en cualquier dispositivo Android.

Una vez la aplicación se ha iniciado mostrara la portada (figura 40) y seguidamente después ira la pantalla de inicio (figura 41).



Fig 76 Icono aplicación





Capítulo V

ANALISIS DE RESULTADOS. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN.



Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y que no exista ningún error en las múltiples líneas de código de las que está compuesta se realizara un caso práctico. Los resultados de este caso práctico se comparan con los resultados obtenidos a través de nuestra aplicación.

5.1 Problema Resuelto

Dicho eje se extrae de un conjunto formado por un motor unido a una reductora de velocidad de engranajes helicoidales que a su vez está conectada a un molino.

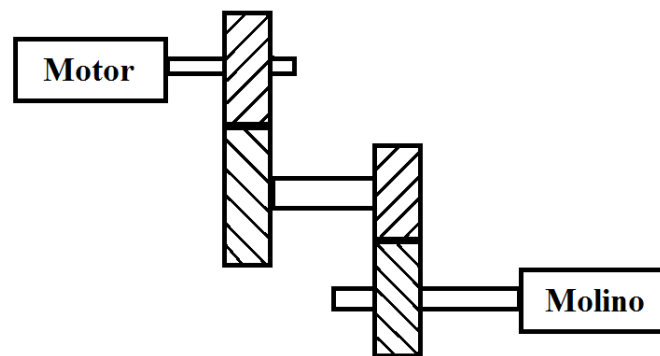


Fig 77 Esquema ejercicio

En las siguientes figuras se muestra un esquema de un eje y las fuerzas que actúan sobre él. Se conocen los siguientes datos:

Fabricado con acero laminado en caliente.

Resistencia última 850MPa, Resistencia de fluencia 470Mpa

Dureza 250HB.

Temperatura de trabajo 300°C.

F1: 194,22N F2: 304,46N F3: 437N M: 26.14Nm T: 37.38Nm.

Radio de acuerdo: 2,5mm

Cotas en mm.

Se pide verificar para una probabilidad de fallo del 1% si el eje tiene vida infinita.

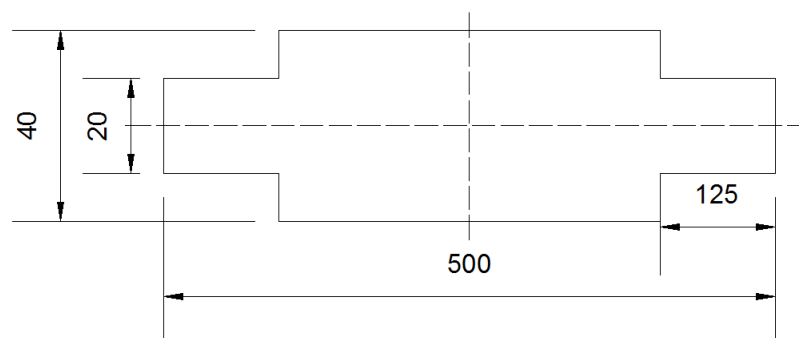


Fig 78 Esquema eje

Solución

Ambas ruedas dentadas generan una serie de fuerzas y momentos sobre el eje, quedando de la siguiente forma.

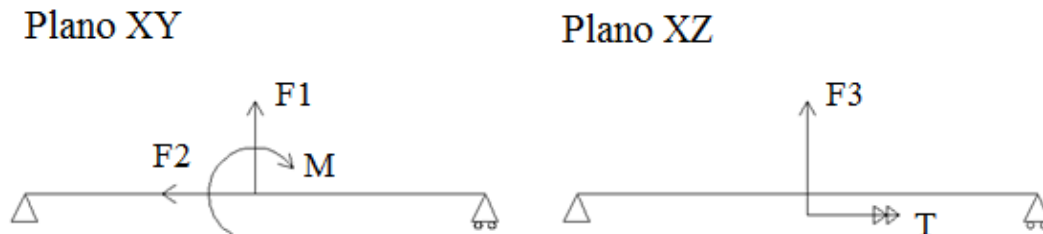


Fig 79 Distribución de las cargas en los distintos planos

Dónde:

$F1$: 194,22 N

$F2$: 306,46 N

$F3$: 437 N

M : 26,14 Nm

T : 37,38 Nm

Al tratarse de fuerzas no simétricas tenemos tres zonas de estudio, los dos cambios de sección y la sección central. La siguiente figura muestra las divisiones.

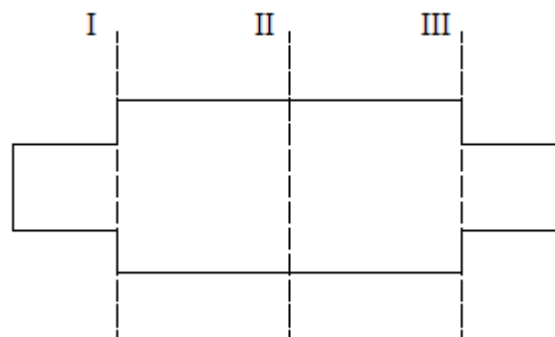


Fig 80 Secciones críticas

Primero calculamos los esfuerzos presentes en nuestras zonas de estudio, para ello descomponemos las fuerzas en los apoyos y calculamos sus diagramas de esfuerzos.

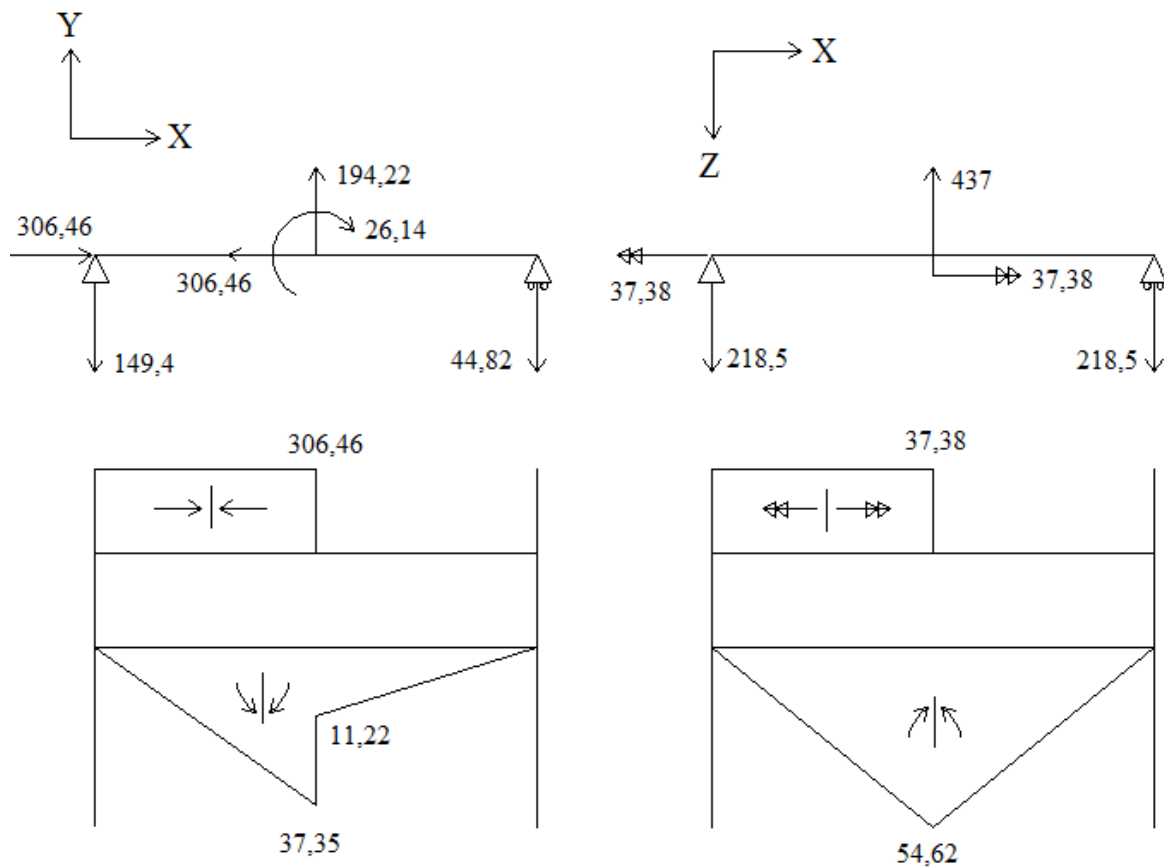


Fig 81 Diagrama de esfuerzos

A continuación aplicamos la Ecuación de Marin, para obtener el valor corregido de límite de fatiga.

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e k_f$$

Común a las tres secciones

Acero:

$$S'_e = 0,5 \cdot 850 = 425 \text{ MPa}$$

Laminado en caliente:

$$k_a = 57,7(850)^{-0,718} = 0,45$$

Factor de carga:

$$k_c = 1$$

Temperatura:

$$k_d = 1$$

Probabilidad de fallo:

$$k_e(99\%) = 0,814$$

Sección I y III

Tamaño: $k_b = \left(\frac{20}{7,62}\right)^{-0,1135} = 0,90$

Concentración de tensiones

Debido a flexión: $K_t = 1,65 \quad q = 0,85; \quad K_f = 1,553$

Debido a torsión: $K_t = 1,35 \quad q = 0,85; \quad K_f = 1,30$

$$k_f = \frac{1}{1,553} = 0,64$$

La sección III no presenta torsión, pero como en la sección I, el efecto predominante es el de flexión decimos que la sección I y III son iguales.

$$S_e = 425 * 0,45 * 0,90 * 1 * 1 * 0,814 * 0,64 = 89,67 MPa$$

Sección II

Tamaño: $k_b = \left(\frac{40}{7,62}\right)^{-0,1135} = 0,83$

Concentración de tensiones: $k_f = 1$

$$S_e = 425 * 0,45 * 0,83 * 1 * 1 * 0,814 * 1 = 129,21 MPa$$

Análisis de Esfuerzos

Tabla 12 Análisis de esfuerzos

Sección I:	Sección II:	Sección III:
My = 27,31 Nm	My = 54,62 Nm	My = 27,31 Nm
Mz = 18,68 Nm	Mz = 37,35 Nm	Mz = 5,6 Nm
M = 33,08 Nm	M = 66,17 Nm	M = 27,88 Nm
N = 306,46 N	N = 306,46 N	N = 0 N
T = 37,38 Nm	T = 37,38 Nm	T = 0 Nm

Análisis del Estado Tensional

Sección I

$$\sigma_m = \frac{N}{A} = \frac{4N}{\pi d^2} = \frac{4 * 306,46}{\pi * 0,02^2} = 975492Pa = 0,975MPa$$

$$\tau_m = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 * 37,38}{\pi * 0,02^3} = 23796847Pa = 23,80MPa$$

$$\sigma_{m\,eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{0,975^2 + 3 * 23,80^2} = 41,23MPa$$

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 * 33,03}{\pi * 0,02^3} = 42055102Pa = 42,06MPa$$

Sección II

$$\sigma_m = \frac{4 * 306,46}{\pi * 0,04^2} = 243873Pa = 0,24MPa$$

$$\tau_m = \frac{16 * 37,38}{\pi * 0,04^3} = 2974606Pa = 2,975MPa$$

$$\sigma_{m\,eq} = \sqrt{0,24^2 + 3 * 2,975^2} = 5,16MPa$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 66,17}{\pi * 0,04^3} = 10531283MPa = 10,53MPa$$

Sección III

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 27,88}{\pi * 0,02^3} = 35497919Pa = 35,50MPa$$

Tabla 13 Estado tensional en las secciones

Tensión (MPa)	Sección I:	Sección II:	Sección III:
Media	41,23	5,16	0
Alternante	42,13	10,53	35,50

Criterios

- **Goodman**

Sección I

$$\frac{42,13}{89,67} + \frac{41,23}{850} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 1,93$$

Sección II

$$\frac{10,53}{129,21} + \frac{5,16}{850} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 11,42$$

Sección III

$$\frac{35,50}{89,67} + \frac{0}{850} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 2,53$$

- **Soderberg**

Sección I

$$\frac{42,13}{89,67} + \frac{41,23}{470} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 1,79$$

Sección II

$$\frac{10,53}{129,21} + \frac{5,16}{470} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 10,81$$

Sección III

$$\frac{35,50}{89,67} + \frac{0}{470} = \frac{1}{n} \rightarrow n = 2,53$$

- **Gerber**

Sección I

$$\frac{42,13n}{89,67} + \left(\frac{41,23n}{850} \right)^2 = 1 \rightarrow n = 2,11$$

Sección II

$$\frac{10,53n}{129,21} + \left(\frac{5,16n}{850} \right)^2 = 1 \rightarrow n = 12,20$$

Sección III

$$\frac{35,50n}{89,67} + \left(\frac{0n}{850}\right)^2 = 1 \rightarrow n = 2,53$$

Tabla 14 Coeficiente de seguridad según los distintos criterios

Coeficiente de Seguridad	Sección <u>I</u> :	Sección <u>II</u> :	Sección <u>III</u> :
Goodman	1,93	11,42	2,53
Soderberg	1,79	10,81	2,53
Gerber	2,11	12,20	2,53

Análisis de Resultados

A la vista de los resultados la sección crítica es la sección I ya que es la que posee el coeficiente de seguridad, n, más bajo. Aun así como este es mayor que uno garantiza que no fallara bajo las condiciones consideradas en servicio. A pesar de tener el peor estado de esfuerzos, combinación de momento torsor, axil y el momento flector más elevado la sección II es la más segura de las tres.

Como era de esperar el criterio de Soderberg es el más conservador de los tres, ya que previene contra el fallo por fluencia.

5.2 Problema Resuelto en Eje.Max

Para resolver el mismo ejercicio con *Eje.Max* se van a enumerar una serie de pasos. Estos pasos se deben seguir siempre para poder resolver cualquier tipo de ejercicio con *Eje.Max*.

Paso 1

En la pantalla de inicio de *Eje.Max* seleccionamos el idioma de la aplicación. Para nuestro caso se dejara el español que viene por defecto.

Pulsamos el botón Cargas.



Fig 82 Problema resuelto-Pantalla inicio

Paso 2

Seleccionamos la estructura que queremos analizar pulsando Opción 1 u Opción 2. En nuestro caso será la Opción 1.

A continuación pulsamos en el botón Configurar como se muestra en la siguiente figura.

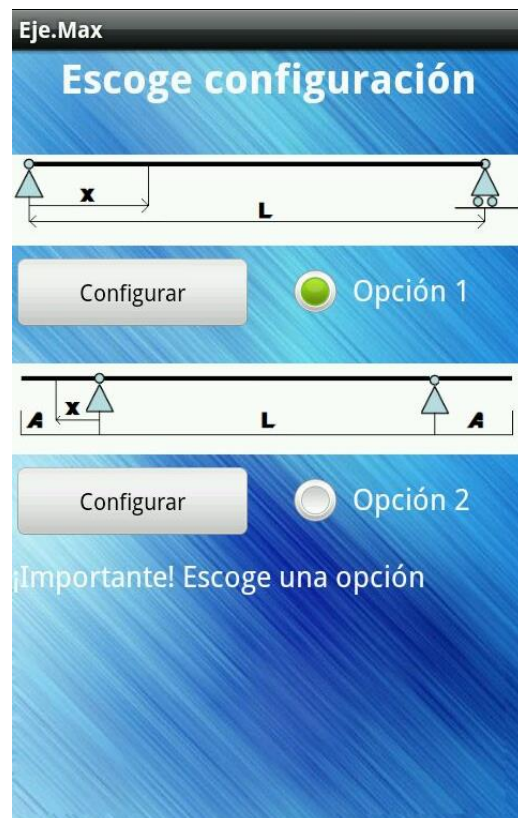


Fig 83 Problema resuelto-Escoge opciones

Paso 3

Como en nuestro ejercicio tenemos tres secciones críticas, repetiremos este paso para cada una de las secciones.

Pulsamos en los botones de planos para introducir las cargas (figuras 87 y 88) y una vez estén todos introducidos.

Regresaremos a la pantalla anterior y pulsaremos el botón Calcular.

Obtendremos tres repuestas diferentes, una por cada sección.



Fig 84 Problema resuelto-Resultados sección I



Fig 85 Problema resuelto-Resultados sección II



Fig 86 Problema resuelto-Resultados sección III

Eje.Max

Plano XY

Fuerzas en N, Momentos en Nm y Distancias en m



Fuerzas en X

Fuerza:	1	2	3
Valor:	-306.46	0.00	0.00
Distancia:	0.25	0.00	0.00

Fuerzas en Y

Fuerza:	1	2	3
Valor:	194.22	0.00	0.00
Distancia:	0.25	0.00	0.00

Momentos

Momento:	1	2	3
Valor:	-26.14	0.00	0.00
Distancia:	0.25	0.00	0.00

Fig 87 Problema resuelto-Valores Plano XY

Eje.Max

Plano XZ

Fuerzas en N, Momentos en Nm y Distancias en m



Fuerzas en Z

Fuerza:	1	2	3
Valor:	-437	0.00	0.00
Distancia:	0.25	0.00	0.00

Momentos

Momento:	1	2	3
Valor:	0.00	0.00	0.00
Distancia:	0.00	0.00	0.00

Momentos Torsores

Momento:	1	2	3
Valor:	37.38	0.00	0.00
Distancia:	0.25	0.00	0.00

Fig 88 Problema resuelto-Valores Plano XZ

Las figuras 84, 85 y 86 muestran los esfuerzos resultantes y el estado tensional en las secciones I, II y III respectivamente. Si los comparamos con los de las tablas 12 y 13 observamos que ambas respuestas son idénticas.

Paso 4

Regresamos a la pantalla de inicio y ahora entraremos en el segundo módulo de **Eje.Max**

Para ello pulsamos el botón Corrección Límite de Fatiga.



Fig 89 Problema resuelto-Pantalla inicio

Paso 5

Una vez dentro del segundo módulo iremos completando la lista uno a uno.

Observaremos que siempre que regresemos a esta pantalla el valor del factor hallado se abra actualizado en la parte inferior de la pantalla

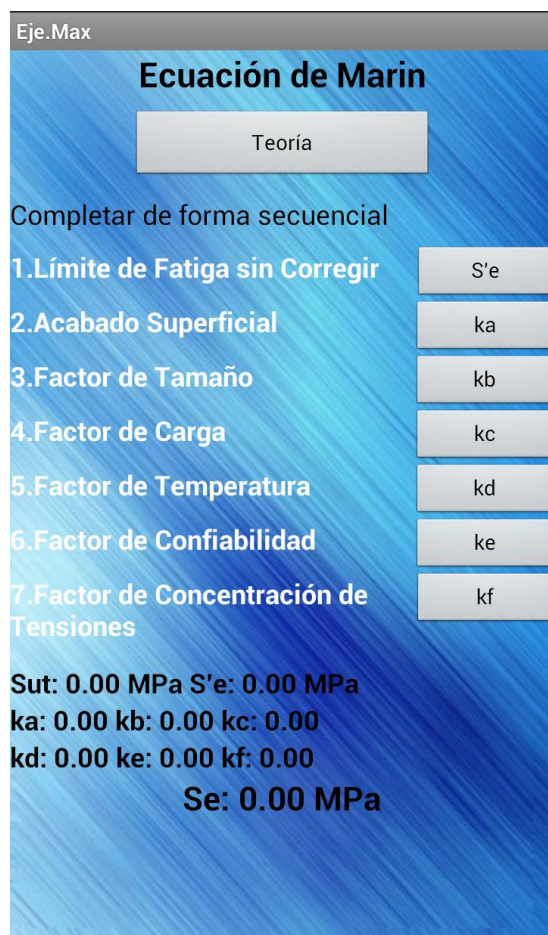


Fig 90 Problema resuelto-Ecuación de Marin

Paso 6

Completamos el primer apartado, para ello pulsamos en el botón S'e.

Seleccionamos el material acero e introducimos la resistencia última del material.

Finalmente pulsamos el botón de calcular para que figure el resultado.

Paso 7

Pulsamos en el botón ka.

Seleccionamos el acabado laminado en caliente y calculamos.

Regresaremos a la pantalla de la figura 90 pulsando el botón de atrás de nuestro dispositivo.

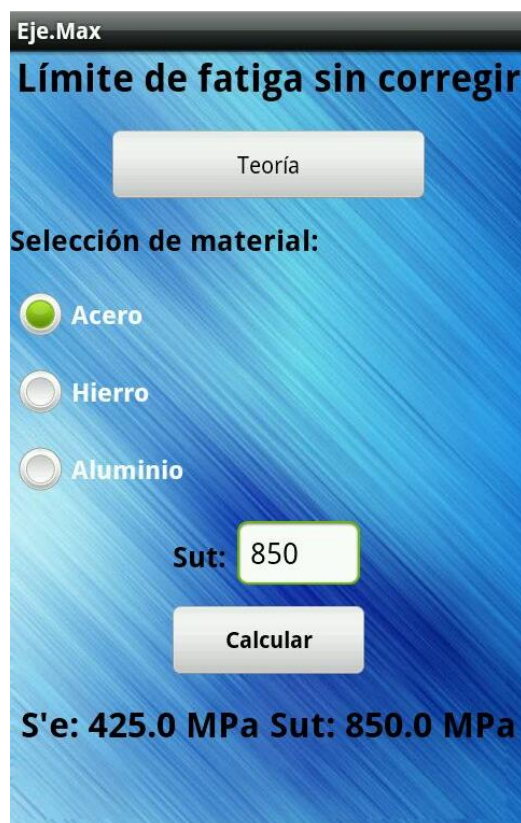


Fig 91 Problema resuelto-Límite de fatiga sin corregir

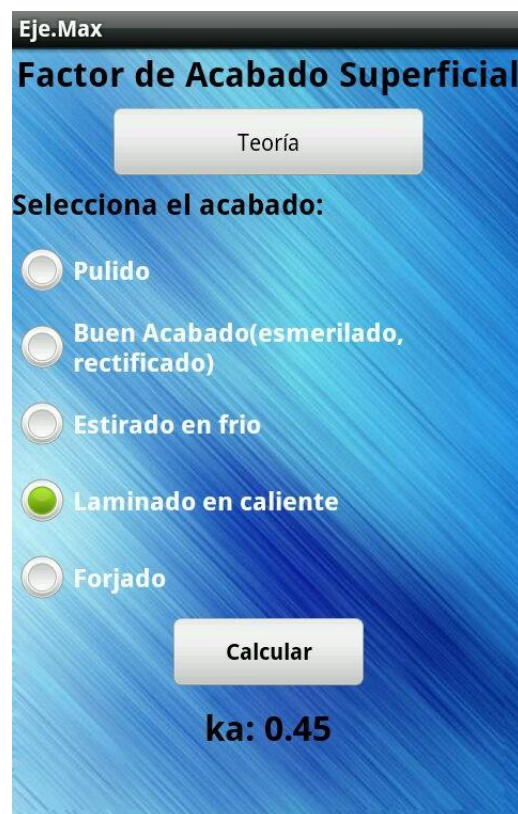


Fig 92 Problema resuelto-Factor de acabado superficial

Paso 8

El factor de tamaño depende de la sección en la que estemos por eso de forma automática dentro de la casilla de diámetro este ya nos muestra el diámetro introducido en la figura 84 o 85.

Seleccionamos el tipo de carga, verificamos el diámetro introducido y calculamos.

Tendremos dos factores de tamaño diferentes, uno para las secciones I y III (diámetro=20mm) y otro para la sección II (diámetro=40mm).



Fig 93 Problema resuelto-Factor de tamaño sección I y III



Fig 94 Problema resuelto-Factor de tamaño sección II

Paso 9

El siguiente en nuestra lista es el factor de tipo de carga, para ello pulsamos en el botón kc.

Seleccionamos el tipo de carga que tengamos presente, en nuestro caso flexión y torsión y pulsamos el botón Calcular.



Fig 95 Problema resuelto-Factor tipo de carga

Paso 10

Al factor de temperatura accedemos de igual manera que con el resto de factores, es decir pulsando su botón.

Introducimos la temperatura a la que nos encontramos que es 300°C y calculamos.



Fig 96 Problema resuelto-Factor de temperatura

Paso 11

Accedemos al factor de confiabilidad pulsando en el botón k_e

Como nuestra probabilidad de fallo es del 1%, pulsamos el botón de confiabilidad al 99%. Automáticamente después aparece el valor del factor de confiabilidad.



Fig 97 Problema resuelto-Factor de confiabilidad

Paso 12

Finalmente configuraremos el último de los factores, el factor de concentración de tensiones pulsando en su botón correspondiente.

Al igual que sucede con el factor de tamaño tendremos dos valores diferentes para este factor, ya que la pieza es simétrica y la sección I y III coinciden.

Analizaremos a fondo como hallar este factor para la sección I y III

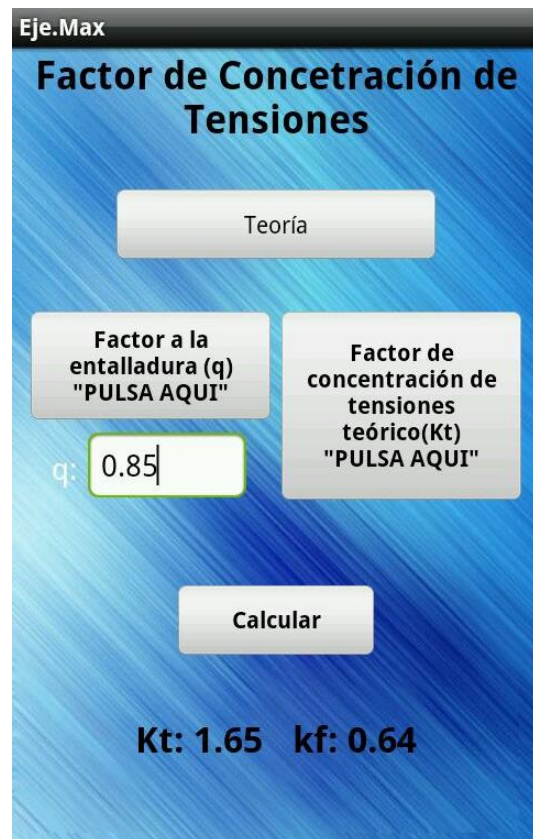


Fig 98 Problema resuelto-factor de concentración de tensiones

Pulsamos primero en el botón que pone Factor a la entalladura que nos redirigirá a la siguiente pantalla. En ella se encontrara incluida una gráfica de donde hallaremos “q”, tocando la pantalla aparecerán dos líneas rojas que nos ayudaran.

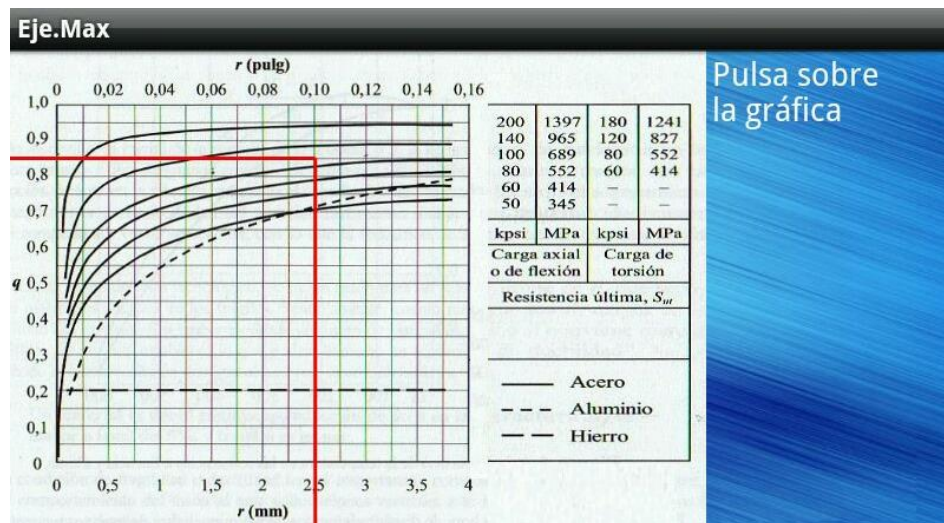


Fig 99 Problema resuelto-Factor a la entalladura

Seguidamente retrocederemos e introduciremos el valor de “q” en su casilla correspondiente.

Ahora calcularemos el factor de concentración de tensiones teórico, para ello pulsamos en su botón y se nos redirigirá a la pantalla de la figura 100.

En la sección I tenemos compresión, flexión y torsión. Por lo que pulsamos en los botones de flexión y torsión y hallamos sus valores mediante las gráficas que se muestran en las figuras 101 y 102.

Una vez sabemos los valores, los introducimos en las casillas correspondientes y seleccionamos el de mayor valor.

Aunque la sección I y III no tienen los mismo esfuerzos, ya que la sección III carece de momento torsor. Su factor de concentración de tensiones teórico es el mismo ya que predomina el efecto producido por el momento flector.



Fig 100 Problema resuelto-Factor de concentración de tensiones teórico

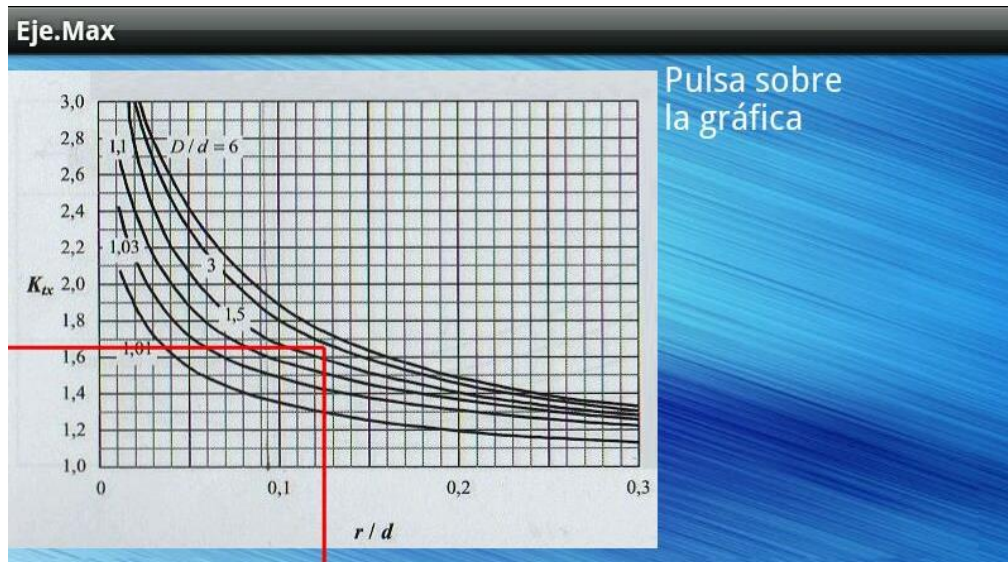


Fig 101 Problema resuelto-Efecto del momento flector

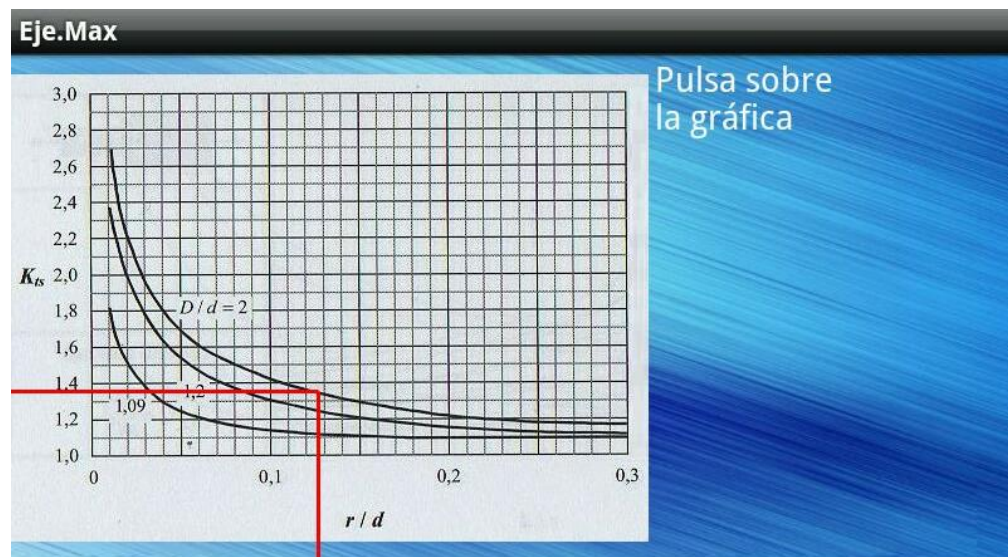


Fig 102 Problema resuelto-Efecto del momento torsor

Llevaremos a cabo el mismo procedimiento para hallar el factor de concentración de tensiones, factor a la entalladura y factor de concentraciones teórico para la sección II.

La sección II no presenta ningún factor de concentración de tensiones por lo que $k_f = 1$, para sacar este valor tan solo debemos pulsar en el botón calcular cuando el resto de valores son cero.

Paso 13

Una vez completados todos los factores volvemos a la pantalla de la figura 90 y comprobamos el resultado obtenido para el límite de fatiga corregido en cada caso.

En la figura 103 aparece el de las secciones I y III, mientras en la figura 104 figurara el de la sección II.

Eje.Max

Ecuación de Marin

Teoría

Completar de forma secuencial

- 1.Límite de Fatiga sin Corregir
- 2.Acabado Superficial
- 3.Factor de Tamaño
- 4.Factor de Carga
- 5.Factor de Temperatura
- 6.Factor de Confiabilidad
- 7.Factor de Concentración de Tensiones

Sut: 850.0 MPa S'e: 425.0 MPa
ka: 0.45 kb: 0.90 kc: 1.00
kd: 1.00 ke: 0.814 kf: 0.64

Se: 89.67 MPa

Fig 103 Problema resuelto-Límite de fatiga corregido
sección I y III

Eje.Max

Ecuación de Marin

Teoría

Completar de forma secuencial

- 1.Límite de Fatiga sin Corregir
- 2.Acabado Superficial
- 3.Factor de Tamaño
- 4.Factor de Carga
- 5.Factor de Temperatura
- 6.Factor de Confiabilidad
- 7.Factor de Concentración de Tensiones

Sut: 850.0 MPa S'e: 425.0 MPa
ka: 0.45 kb: 0.83 kc: 1.00
kd: 1.00 ke: 0.814 kf: 1.00

Se: 129.21 MPa

Fig 104 Problema resuelto-Límite de fatiga corregido
sección II

Al igual que ocurría en el primer módulo, los resultados obtenidos en el segundo módulo coinciden con los hallados en el apartado 5.1 para el límite de fatiga corregido ha vida infinita.

Paso 14

Volvemos a la pantalla de inicio que se muestra en las figuras 82 y 89, y pulsamos en el último botón que figura en la pantalla, Criterios de Análisis.

Una vez hemos accedido a esta pantalla pulsamos ahora en el botón de criterios de fallo por fatiga



Fig 105 Problema resuelto-Pantalla de inicio del tercer módulo

Paso 15

Para acabar de configurar los datos necesarios. Seleccionaremos el método de análisis y el número de ciclos.

En el caso de los ciclos siempre será vida infinita.

Respecto al criterio como vamos a hacer un análisis de todos ellos, iremos seleccionándolo una a uno.

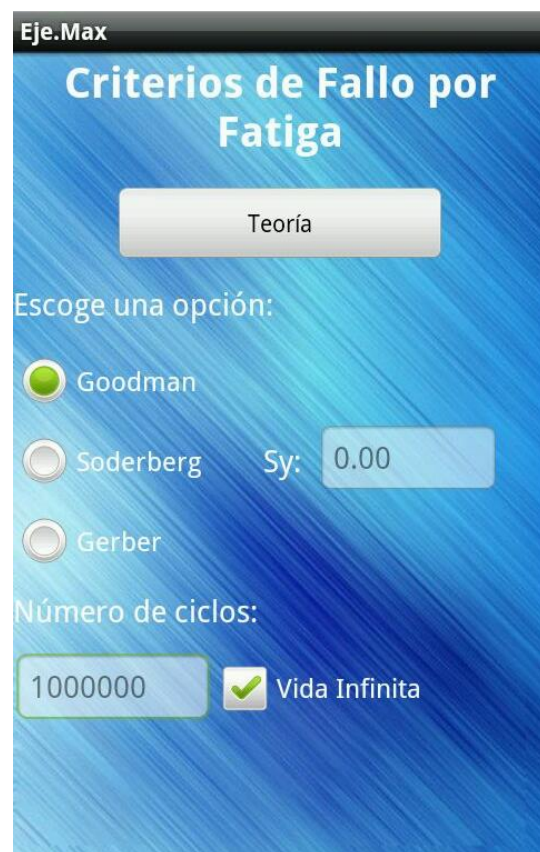


Fig 106 Problema resuelto-Elección de criterio y número de ciclos

Paso 16

Regresaremos a la pantalla anterior y ahora bajo el apartado de datos mostrara un resumen de todos los datos calculados. Finalmente pulsaremos el botón de Calcular de la pantalla para realizar el análisis a fatiga.

Las siguientes figuras mostraran los coeficientes de seguridad obtenidos para cada una de las tres secciones empleando los diferentes criterios.

Según Goodman

Sección I



Fig 107 Problema resuelto-Criterio de Goodman
sección I

Sección II



Fig 108 Problema resuelto-Criterio de Goodman
sección II

Sección III



Fig 109 Problema resuelto-Criterio de Goodman
sección III

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos para las tres secciones según el criterio de Goodman coinciden con los hallados en el apartado 5.1, quedando de manifiesto la exactitud y fiabilidad de *Eje.Max*.

Tabla 15 Resultados criterio de Goodman

	Sección I	Sección II	Sección III
Tensión Alternante	42,13	10,53	35,50
Tensión Media	41,23	5,16	0
Coefficiente de Seguridad	1,93	11,42	2,53

Según Soderberg

Sección I



Eje.Max

Análisis

Criterios de fallo por fatiga

Datos

Material: Acero Opción: 1
Criterio: Soderberg Ciclos: 1000000
TA: 42.13 MPa TM: 41.23 MPa
Sut: 850.0 Se: 89.67

Calcular

Resultados

n: 1.79 Válido

Fig 110 Problema resuelto-Criterio de Soderberg
sección I

Sección II



Eje.Max

Análisis

Criterios de fallo por fatiga

Datos

Material: Acero Opción: 1
Criterio: Soderberg Ciclos: 1000000
TA: 10.53 MPa TM: 5.16 MPa
Sut: 850.0 Se: 129.21

Calcular

Resultados

n: 10.81 Válido

Fig 111 Problema resuelto-Criterio de Soderberg
sección II

Sección III



The screenshot shows the 'Análisis' (Analysis) screen of the Eje.Max application. At the top, there's a title bar 'Eje.Max' and a large 'Análisis' header. Below the header, there are two cartoon characters flanking a button labeled 'Criterios de fallo por fatiga'. The 'Datos' (Data) section contains the following information: Material: Acero, Opción: 1, Criterio: Soderberg, Ciclos: 1000000, TA: 35.50 MPa, TM: 0.00 MPa, Sut: 850.0, and Se: 89.67. A 'Calcular' (Calculate) button is positioned below the data. The 'Resultados' (Results) section displays 'n: 2.53' and 'Válido' (Valid) in green text.

Fig 112 Problema resuelto-Criterio de Soderberg
sección III

Análisis de Resultados

De igual manera que ocurría con Goodman, el análisis para el criterio de Soderberg coincide con los resultados hallados al comienzo del capítulo 5.

Tabla 16 Resultados criterio de Soderberg

	Sección I	Sección II	Sección III
Tensión Alternante	42,13	10,53	35,50
Tensión Media	41,23	5,16	0
Coefficiente de Seguridad	1,79	10,81	2,53

Según Gerber

Sección I



Eje.Max

Análisis

Criterios de fallo por fatiga

Datos

Material: Acero Opción: 1
Criterio: Gerber Ciclos: 1000000
TA: 42.13 MPa TM: 41.23 MPa
Sut: 850.0 Se: 89.67

Calcular

Resultados

n: 2.11 Válido

Fig 113 Problema resuelto-Criterio de Gerber
sección I

Sección II



Eje.Max

Análisis

Criterios de fallo por fatiga

Datos

Material: Acero Opción: 1
Criterio: Gerber Ciclos: 1000000
TA: 10.53 MPa TM: 5.16 MPa
Sut: 850.0 Se: 129.21

Calcular

Resultados

n: 12.20 Válido

Fig 114 Problema resuelto-Criterio de Gerber
sección II

Sección III



Fig 115 Problema resuelto-Criterio de Gerber
sección III

Análisis de Resultados

Nuevamente se vuelve a confirmar la exactitud de los resultados de *Eje.Max*, esta vez empleando el criterio de Gerber.

Tabla 17 Resultados criterio de Gerber

	Sección I	Sección II	Sección III
Tensión Alternante	42,13	10,53	35,50
Tensión Media	41,23	5,16	0
Coefficiente de Seguridad	2,11	12,20	2,53





Capítulo VI

APLICACIONES DE EXPLORACIÓN



6.1 Introducción

A la hora de implementar la versión final de *Eje.Max* se crearon con anterioridad dos aplicaciones con el fin de establecer la arquitectura y los fundamentos de la que va a ser la aplicación principal de este Proyecto Fin de Carrera. De igual manera esto sirvió para familiarizarse con el entorno de programación y las múltiples opciones que Android y Eclipse ponen a nuestro alcance.

Eje.Max debido a su organigrama presenta dos retos importantes. El primero se basa en como aprender a crear botones y moverte por pantalla, al igual que pedir una serie de datos de entrada para la posterior obtención de unos datos de salida y el segundo se basa en la introducción del elemento canvas, es decir la función grafica de Android, en la estructura del primero.

A continuación se mostraran ambas aplicaciones con una ligera explicación de su funcionamiento.

6.2 MomentosInercia2D



Fig 116 Portada MomentosInercia2D

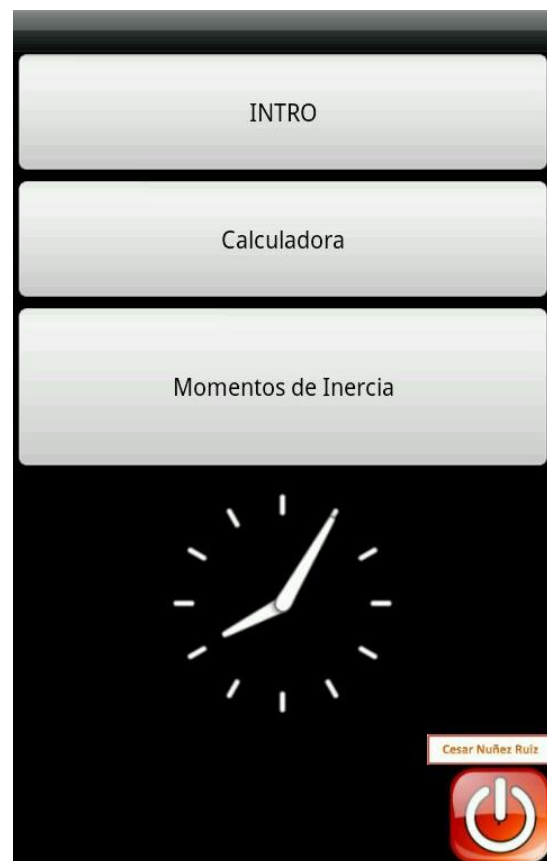


Fig 117 MomentosInercia2D

El objetivo de esta aplicación es la de aprender a manejar las distintas funciones de un proyecto Android, como botones, creación de pantallas, movimientos entre clases, introducción de datos, implementación de fórmulas...

MomentosInercia2D se ha implementado de una forma sencilla, se ha dividido en tres partes: INTRO, Calculadora y Momentos de Inercia. A su vez, la pantalla principal presenta un botón de salida personalizado y un reloj analógico que se actualiza automáticamente con el de nuestro dispositivo móvil.

INTRO tiene como finalidad informar de las partes de las que consta la aplicación. Calculadora ya es un pequeño programita insertado dentro de esta aplicación. Presenta un desafío importante ya que debía hacer un display gráfico y luego programar cada una de las funciones de dicho display. Como punto a resaltar encontramos la introducción de números de más de un dígito, ya que al pulsar un botón este modificaba el número anterior y ponía el nuevo. Esto se resolvió con la siguiente línea de código, que viene a decir que cuando pulses un botón coge el texto anterior y añádele el número a la derecha. Dicho código corresponde al botón 1.

```
display.setText(display.getText()+"1");
```

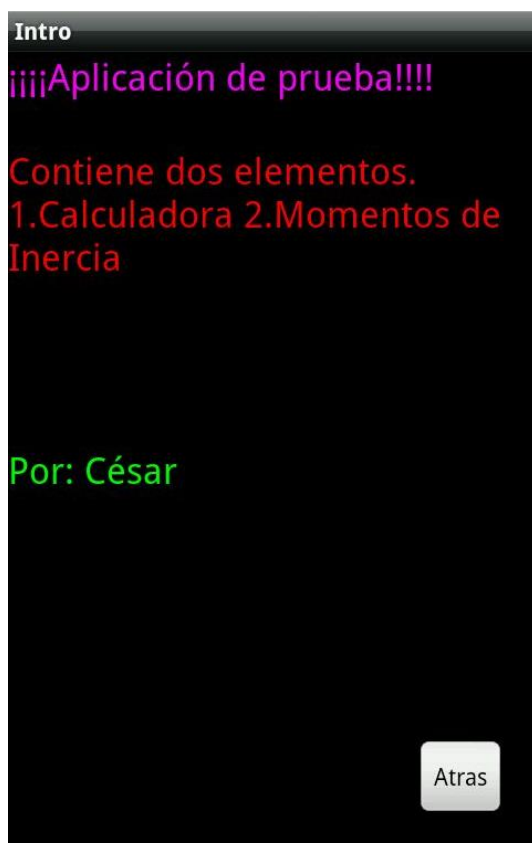
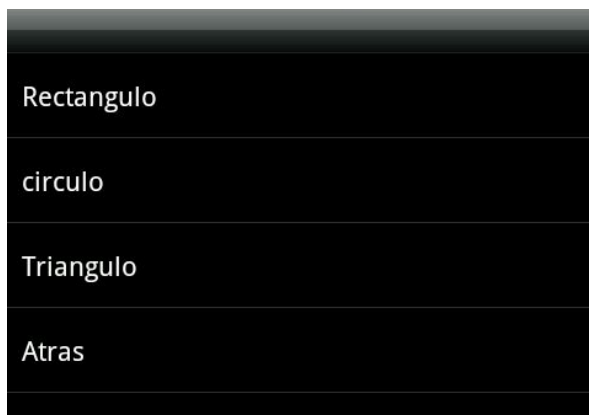


Fig 118 INTRO



Fig 119 Display calculadora

Momentos de inercia ya es un módulo más complejo que incluye una lista de las figuras geométricas que pueden ser calculadas. El crear dicha lista se sale de la arquitectura que veníamos empleando para crear las distintas pantallas. Asociábamos siempre una clase a un XML, esta lista no lleva un XML asociado, lo cual implica una programación totalmente distinta.



Accederemos a cada una de las distintas figuras pulsando sobre el rectángulo que contiene la lista.

Como muestran las siguientes figuras toda la información necesaria se muestra en la pantalla.

Este módulo inicia la implementación y adaptación de las distintas fórmulas a un entorno programable.

Fig 120...Lista de figuras disponibles

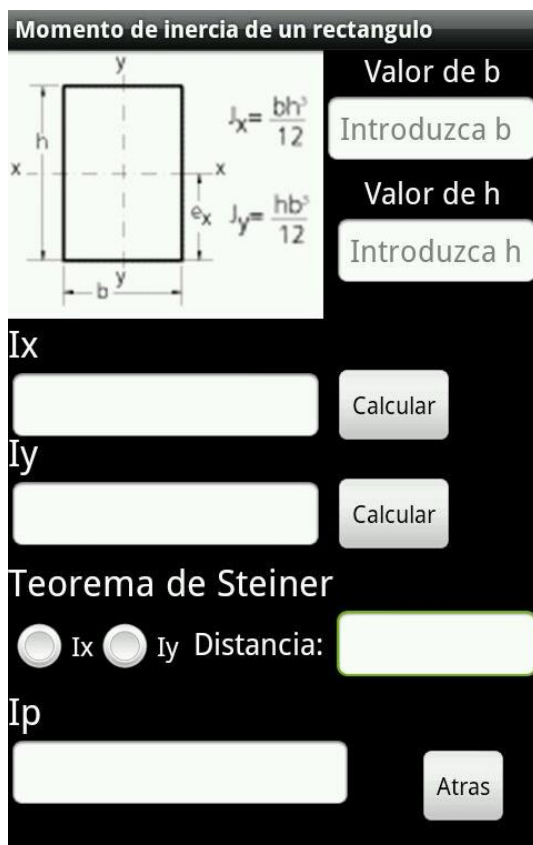


Fig 121 Rectángulo

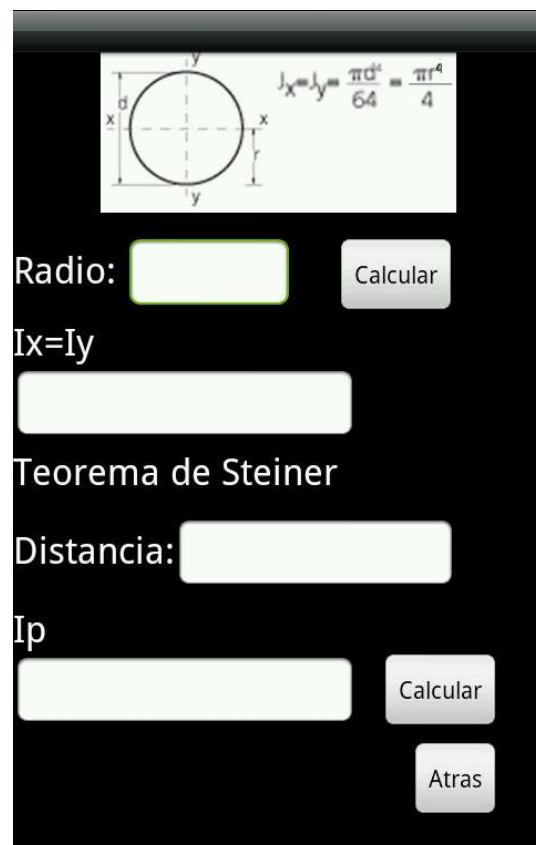


Fig 122 Círculo

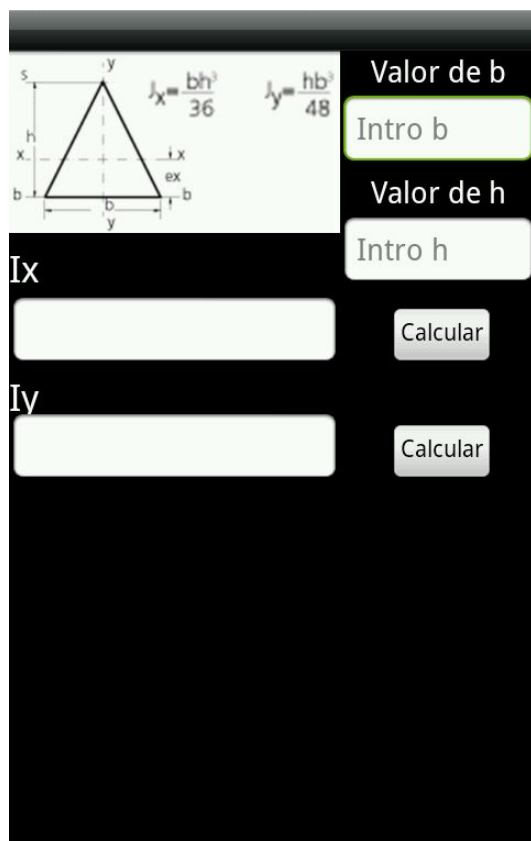


Fig 123 Triángulo

Eje.Max hereda de *MomentosInercia2D* su arquitectura empezando por una portada de duración determinada que da lugar a la pantalla principal de la aplicación hasta la forma en la que implementar los distintos módulos con el contenido de cada uno. La lista desplegable se descarta para futuros usos debido a que interfiere con otras funciones que contendrá *Eje.Max*, al igual que el reloj analógico cuya función muy vistosa no añade valor.

La última aportación de *MomentoInercia2D* será la personalización del acceso directo que aparece en nuestro dispositivo como se muestra en la siguiente figura.



Fig 124 Botón de acceso

6.3 Canvas

Canvas nace de la necesidad de dibujar sobre la pantalla en la que nos encontramos, de igual manera también se le añadirán más funciones, como la creación de un menú y un toast, que serán exportadas a *Eje.Max*. El problema que presenta dibujar en la pantalla es que hay que entrar en la función que Android conoce como canvas y que se utiliza en su gran mayoría para la programación de juegos.

Nuestras clases siempre se extienden con un elemento llamado Activity pero para poder usar el canvas cambiaremos el elemento a SurfaceView o View. Escogeremos la primera opción ya que utiliza menos memoria de nuestro dispositivo. Aunque nuestros requisitos sean tan solo de dibujar un par de líneas o un círculo, canvas tiene la finalidad de ser fácil para la programación de juegos. Por lo que un simple juego como una pelota moviéndose por la pantalla tendría la misma extensión que la aplicación *Canvas*.



Fig 125 Pantalla principal canvas

La pantalla principal de la aplicación es la que se muestra en la figura 125, cuya finalidad es la de mostrar las dos funciones que tiene.

La primera es el botón que da acceso al uso de las funciones de *Canvas* que figura como *Acceso a la parte de dibujo* y la segunda es el mensaje que muestra la aplicación justo debajo del botón.

Para acceder al botón menú se pulsa sobre la tecla que tiene nuestro Smartphone que corresponde a la tecla de menú. Justo después aparecerá un desplegable en la parte inferior de pantalla.



Fig 126...Menu desplegable

El menú desplegable contiene tres teclas, las dos primeras muestran un toast personalizado y la última sirve para cerrar la aplicación.

Un toast es un mensaje que aparece en la pantalla durante un tiempo predeterminado por Android. En la siguiente figura se observa el aspecto que tiene dicho toast.



Fig 127 Toast personalizado

A continuación explicaremos el funcionamiento de la parte principal de la aplicación **Canvas**. Para ello pulsamos en el botón que aparece en la pantalla de nuestro Smartphone que nos redirigirá a la figura 128.

Una propiedad nueva que aparecerá al usar el canvas es que desaparecerán los botones que veníamos usando habitualmente y ahora la pantalla funcionara como un único botón, ya que reconocerá el lugar de la pantalla que hemos tocado. Esto a la hora de implementar en lenguaje Java produce un cambio en la estructura habitual de llamada OnClickListener por la de onTouchListener.

Tan solo seguimos las instrucciones que figuran y obtendremos la figura 129, que contiene un texto personalizable, un círculo y dos líneas con una imagen. Las líneas y la figura se moverán siempre al punto tocado en la pantalla.

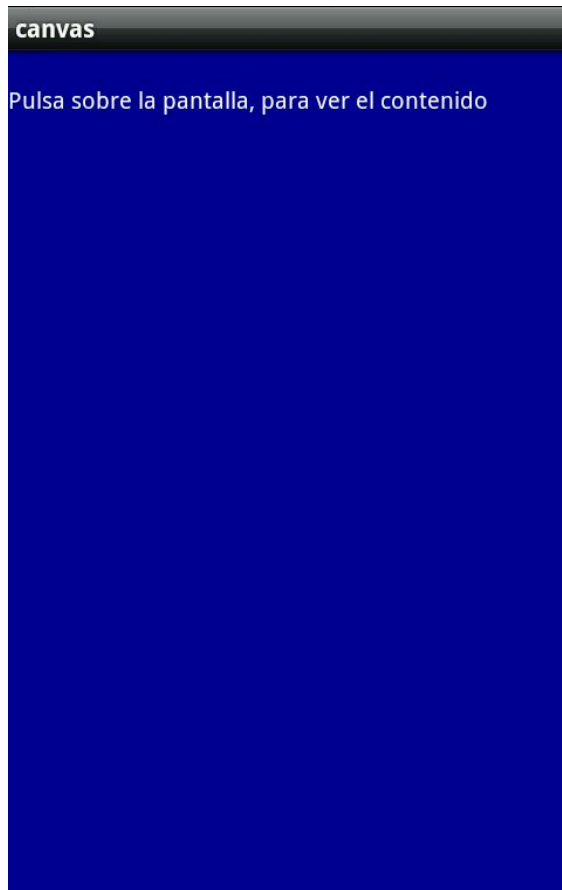


Fig 128 Pantalla 1 del canvas



Fig 129 Pantalla 2 del canvas





Capítulo VII

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS



7.1 Conclusiones

Llegados al final de este Proyecto Fin de Carrera se puede afirmar que el objetivo principal, diseño e implementación de una aplicación Android para el estudio de fatiga en ejes y cálculo del coeficiente de seguridad, se ha cumplido de forma satisfactoria.

Se ha realizado una búsqueda de software genérico con el que implementar la aplicación. Este software, Eclipse, presenta mejores herramientas y cuenta con un mayor número de facilidades. Además es el programa informático recomendado por la web de desarrolladores de Google.

Para ello se ha recopilado información de cómo crear, desarrollar y entender la estructura de aplicaciones Android a través del software Eclipse. Se ha creado documentación útil para obtener un mayor conocimiento del software Eclipse y Android con el fin de facilitar su uso en futuros trabajos relacionados con *Eje.Max* o para distintos estudios.

Como resultado de esta documentación se han diseñado e implementado en Eclipse dos aplicaciones de exploración, *MomentoInercia2D* y *Canvas*, cuyos análisis de funcionamiento han servido para concebir y desarrollar *Eje.Max*.

Eje.Max es el resultado de crear y adaptar a un entorno programable un modelo capaz de interpretar y calcular el estado de cargas presente en las estructuras contenidas en la aplicación.

Se ha incorporado una función capaz de modificar el idioma de español a inglés o viceversa en cualquiera de las pantallas disponibles a excepción de las que contienen las gráficas, al igual que otra que guarda todos nuestros resultados.

Tras realizar un juego de pruebas para varios casos posibles se ha verificado la correcta operatividad de la aplicación de este proyecto y podemos concluir la plena disponibilidad de esta nueva herramienta con vistas a posteriores trabajos para dotarla de mayores competencias y funcionalidades.

La aplicación *Eje.Max* se ha probado satisfactoriamente en los siguientes dispositivos con software Android: HTC Desire HD, HTC Sensation XL, Samsung Galaxy SIII, Samsung Galaxy S Dous, Samsung Galaxy Mini, LG Optimus Black, LG Optimus L5, Sony Xperia U y Sony Xperia P.

7.2 Futuros Trabajos

Al tratarse de un producto nuevo e innovador las posibilidades de expansión y mejora son enormes. Como líneas de mejora se proponen las siguientes evoluciones.

- Incorporación de nuevos idiomas a *Eje.Max*.
- Creación de una versión *Eje.Max* en otros sistemas operativos como iOS, Blackberry OS y Windows Phone.
- Estudio de un mayor número de estructuras y de mayor número de cargas al igual que la introducción de cargas continuas.
- Introducción de un módulo capaz de dibujar los esfuerzos a lo largo de nuestro eje, capaz de detectar los puntos críticos del mismo.
- Incorporación al análisis de geometrías no circulares al igual que geometrías circulares huecas.
- Exportar a otros elementos mecánicos (engranajes, correas, ...).

Dichas mejoras dotarían a *Eje.Max* con una versatilidad y funcionalidad no vistas pudiéndose convertir en una herramienta única y sin competidores en el mercado.



Capítulo VIII

PRESUPUESTO



8.1 Presupuesto

El desarrollo de este proyecto lleva conlleva una serie de gastos económicos estimados que se desarrollan a continuación. El desglose de los costes se ha dividido en cuatro grupos: formación, desarrollo, equipo, y otros costos

- **Formación:** Estimación del coste necesario para el aprendizaje del lenguaje de programación Java y de los fundamentos de Android. Se crearan pequeños applets y aplicaciones Android ajenos al proyecto con el fin de familiarizarse con el uso del software y sus funciones
- **Desarrollo:** Coste imputable al tiempo desempeñado para la creación y puesta en funcionamiento de *Eje.Max* por parte del autor del proyecto, César Núñez Ruiz, como ingeniero.
- **Informática:** Se estima el coste asociado al uso del Pc de sobremesa como del software empleado.
- **Otros Costes:** Aglomera el resto de costes derivados del proyecto como impresión de documentos, desplazamientos...

Tabla 18 Coste de formación

<u>Formación</u>	<u>Horas</u>	<u>Coste(€)/hora</u>	<u>Coste Imputable(€)</u>
<i>Aprendizaje del lenguaje de programación java</i>	60	20	1200
<i>Fundamentos de Android</i>	80	20	1600
<u>Total Formacion</u>			2800

Tabla 19 Coste de desarrollo

<u>Desarrollo</u>	<u>Horas</u>	<u>Coste(€)/hora</u>	<u>Coste Imputable(€)</u>
<i>Eje.Max</i>	240	25	6000
<u>Total Desarrollo</u>			6000

Tabla 20 Coste de equipos

<u>Informática</u>	<u>Coste(€)</u>	<u>Amortización</u>	<u>Coste Imputable(€)</u>
<i>Pc sobremesa + Office 2010 + Internet</i>	2960	1/20	148
<i>Eclipse</i>	0	-	0
<i>Complementos Android para Eclipse</i>	0	-	0
<u>Total Informatica</u>			148

Tabla 21 Otros costes

<u>Otros Costes</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Desplazamientos y consultas</i>	250
<i>Impresión de documentos y material de oficina</i>	250
<u>Total Otros Costes</u>	500

Tabla 22 Coste total

<u>Resumen de Costes</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Formación</i>	2800
<i>Desarrollo</i>	6000
<i>Informática</i>	148
<i>Otros Costes</i>	500
<u>Total Proyecto Provisional</u>	9448

Tabla 23 Presupuesto final

<u>Presupuesto final</u>	<u>Coste imputable(€)</u>
<i>Gastos indirectos y beneficios +20%</i>	1889,6
<u>Total Proyecto (sin IVA)</u>	11337,6



Capítulo IX

BIBLIOGRAFÍA



9.1 Referencias Bibliográficas

- [1] TECNOLOGIA DE MAQUINAS. TOMO I. FUNDAMENTOS, EJES, ACOPLAMIENTOS Y APOYOS. Jose Ignacio Pedrero Moya. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2005. ISBN 84-362-5125-3
- [2] Diseño de Máquinas. Norton, Robert L. PRENTICE HALL, 1999. ISBN 970-17-0257-3
- [3] DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA. J.E. Shigley y C. Mischke. McGraw-Hill, 2002. ISBN 9701036468
- [4] Guía Práctica Java SE 6. F. Javier Moldes. Ediciones Anaya Multimedia, 2077. ISBN 978-84-415-2288-6
- [5] Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. ESTUDIO MECÁNICO AVANZADO DE UN EJE DE FERROCARRIL. Alfonso Zamora Abad, Noviembre 2010.

9.2 Referencias de la Web

- [6] Teléfono inteligente.
http://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fonos_inteligentes
Ultimo acceso (15 de Abril de 2013)
- [7] ELEMENTOS DE MAQUINAS. TEORIA Y PROBLEMAS. Universidad de Oviedo.
http://books.google.es/books?id=LD5jNSKwqhoC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=ejes+de+transmision+biapoyados&source=bl&ots=iG_cbz_y9O&sig=z9xsEOMp7Q66IT8Js4tAPmOh0NY&hl=es&sa=X&ei=_jQSUczoGcrI0AWt84CIDQ&ved=0CDIQ6AEwAA#v=onepage&q=ejes%20de%20transmision%20biapoyados&f=false
Ultimo acceso (10 de Marzo de 2013)
- [8] Introducción al Análisis de Fatiga o Durabilidad.
<http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm>
Ultimo acceso (10 de Marzo de 2013)
- [9] Video tutoriales Android.
<http://www.inquisidores.net/index.php>
Ultimo acceso (15 de Enero de 2013)

- [10] Programas para la web: Nuestro primer applet.
<http://www.aprendeaprogramar.com/mod/resource/view.php?id=215>
Ultimo acceso (20 de Julio de 2012)

- [11] The New Boston, Android. Video tutoriales Android.
<http://thenewboston.org/list.php?cat=6>
Ultimo acceso (7 de Abril de 2013)

- [12] Youtube. Web de videos.
www.youtube.com
Ultimo acceso (26 de Marzo de 2013)

- [13] Android Developers
<http://developer.android.com/index.html>
Ultimo acceso (7 de Abril de 2013)

